

Lineare Programmierung und betriebliche Daten

DISSERTATION

zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Staatswissenschaften
vorgelegt der Philosophisch-Historischen Fakultät
der Universität Basel

von

Gerd Bernsau
aus Wuppertal
(Deutschland)

1965

1969

Verlag: Kleinoffsetdruckerei - Bamberg

Lineare Programmierung und betriebliche Daten

DISSERTATION

zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Staatswissenschaften
vorgelegt der Philosophisch-Historischen Fakultät
der Universität Basel

von

Gerd Bernsau
aus Wuppertal
(Deutschland)

1969

Verlag: Kleinoffsetdruckerei - Bamberg



Genehmigt von der Philosophisch-Historischen Fakultät
der Universität Basel auf Antrag der Herren
Prof. Dr. G. Bombach und Prof. Dr. H. Guth.

Basel, 6. Juli 1965

Prof. Dr. H. Rupp
Dekan

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung	Seite 4
Der Einfluß nicht determinierter Daten auf die Programmauswahl	5
1. Bedeutung der Datenvariation für die Berechnung	5
1.1 Datenvariation ohne Veränderung der Programmstruktur	6
1.11 Auswirkungen im revidierten Optimalprogramm	6
1.12 Negative Datenvariation und realisiertes Programm	7
1.13 Positive Datenvariation und realisiertes Programm	16
1.2 Datenvariation mit Veränderung der Programmstruktur	20
1.21 Die Komponenten der Ergebnisveränderung	20
1.22 Die Gesamtabweichung	26
2. Effektiver Ertragsausfall durch Datenungenauigkeit	28
2.1 Größe und Häufigkeit der Datenvariation als Bestimmungsfaktor	28
2.11 Fehlerverteilung bei den einzelnen Daten- gruppen	29
2.12 Kombinationsvorgang und Datenabweichung	31
2.2 Fertigungsbedingungen und Ertragsveränderung	33
2.21 Fertigungsfolge als Bestimmungsfaktor	33
2.22 Abweichung B bei positiver Datenvariation	35
2.3 Typische Verhältnisse bei den Ertragsver- änderungen	36
3. Einfluß der Programmstruktur auf die Berechnungs- ergebnisse	37
3.1 Zahl der Koeffizienten im Programm	37
3.11 Auswirkungen bei Abweichung A	37
3.12 Auswirkungen bei Abweichung B	38
3.2 Beziehungen zwischen den Koeffizienten	39
3.21 Abstimmungsgrad bei den Kapazitäten	40
3.22 Abstand zwischen den Produktions- koeffizienten	41
3.23 Optimalprogramm und Konkurrenzprodukte	41

	Seite
4. Einsatzbeschränkungen für die lineare Planungsrechnung	42
4.1 Informationsstand und Ergebnisverbesserung	43
4.2 Verfahrensauswahl unter Beachtung der Kosten- Informations-Beziehung	48
4.3 Einfluß der Zeit bei der Verfahrensauswahl	49
4.4 Optimaler Einsatz moderner Planungsinstrumente	51
5. Verbesserung der Einsatzbedingungen für mathematische Verfahren	52
Literaturverzeichnis	
Anhang I: Aufgabenstellung	
Anhang II: Ermittlung der Realisation	
Lebenslauf	

Vorbemerkung

Die hier vorgelegte Arbeit ist ein Auszug aus der Dissertation, die der Philosophisch-Historischen Fakultät zur Erlangung der Doktorwürde eingereicht wurde. In dieser wissenschaftlichen Untersuchung wurden die Einsatzbedingungen der Linearen Programmierung bei der Planung des Produktionsprogramms unter Berücksichtigung bestehender Mängel und Lücken im Informationswesen des Unternehmens überprüft. Es sollte gezeigt werden, wieweit die Ungenauigkeit und Unsicherheit betrieblicher Plandaten den Einsatz der Programmierung einschränken oder sogar unmöglich machen können.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf die Problemfelder:

1. Analyse der normalen Informationsqualität im Unternehmen.
2. Auswirkung der festgestellten Informationsmängel auf die Leistung des eingesetzten Planungsinstruments.
3. Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Linearen Programmierung im betrieblichen Einsatz bei gegebenen Informationsverhältnissen.

Bei der Beurteilung des verfügbaren betrieblichen Zahlenmaterials, ihres Sicherheits- und Genauigkeitsgrades wurden nur die Bedingungen von Unternehmen berücksichtigt, die nach den heute gültigen Maßstäben ein einwandfreies Rechnungswesen und eine gute Organisation besitzen. Alle Informationsmängel, die nach dem Stand der betriebswirtschaftlichen Praxis vermeidbar sind, wurden somit von vornherein ausgeklammert.

Die Untersuchungsergebnisse des Teils 3 der Dissertation werden hier in diesem Teildruck dargestellt.

Der Einfluß nicht determinierter Daten auf die Programmauswahl

1. Bedeutung der Datenvariation für die Berechnung.

Die Untersuchungsergebnisse in anderen, hier nicht veröffentlichten Teilen (vor allem Teil 2) der Arbeit lassen erkennen, daß normalerweise beim Einsatz der Linearen Programmierung in der Planung des Produktionsprogramms mit nicht genau fixierbaren Daten gearbeitet werden muß. Abweichungen der Istwerte gegenüber den Planzahlen sind bei den Kapazitätsangaben (verfügbare Kapazität) genauso zu erwarten wie bei den technischen Koeffizienten (benötigte Kapazität pro Produkt und Fertigungsstelle) und den Deckungsbeiträgen.

Um über die Bedeutung unsicherer Eingangsdaten für die Berechnungsergebnisse Aussagen machen zu können, wurde ein einfacher Programmierungsfall mit verschiedenen, in der Praxis denkbaren Möglichkeiten durchgespielt. Hierbei wurden unterschiedliche Annahmen über die Schwankungsbreite der Daten und die Form der Datenveränderung gemacht, um die einzelnen Störfaktoren und ihre Auswirkung auf das Ergebnis zu isolieren.¹⁾

Diese Abweichungen zwischen den in die Programmierung eingehenden Plandaten und den Istwerten der Fertigung, im folgenden als Datenvariation angesprochen, sind Ausgangspunkt für die Bestimmung der Bedingungen, die den Einsatz der Linearen Programmierung begrenzen. Um die effektiven Erfolgsaussichten und die Wirtschaftlichkeit dieses neuen Planungsinstruments richtig abschätzen zu können, muß nämlich von vornherein die Datenvariation mit ihren Auswirkungen in die Einsatzüberlegungen einbezogen werden. Ein Vergleich zwischen berechnetem Ergebnis des Optimalprogramms und bisherigem Produktionsergebnis reicht für diese Investitionsüberlegungen nicht aus.

1) Vgl. hierzu die Angaben im Anhang

Zu diesem Zweck werden in die Vergleichsrechnungen zwei neue Größen einbezogen, die als "Ergebnis des revidierten Optimalprogramms"¹⁾ und "Ergebnis der rechnerischen Realisation"²⁾ bezeichnet werden. Mit Hilfe dieser Größen lassen sich dann die Ergebnisauswirkungen der Datenvariation in die Berechnungen einbauen.

1.1 Datenvariation ohne Veränderung der Programmstruktur

1.11 Auswirkungen im revidierten Optimalprogramm

Wenn die Daten in allen vorhandenen Fertigungsstufen, bei allen Produkten und Erträgen gleichmäßig schwanken, d.h. wenn die Abweichungen relativ gleich sind, dann bleibt das Mengenverhältnis zwischen den Produkten im berechneten Programm unverändert. Unabhängig davon, ob die Abweichungen positiv oder negativ, ob sie groß oder klein sind, die Anteile der Produkte am Fertigungsausstoß der Rechnungsperiode werden nicht berührt. Die bei der Ausgangslösung festgestellten Produktmengen variieren mit und im Ausmaß der Datenveränderung und die Schwerpunkte für die Programmbestimmung haben sich nicht verschoben.

Es handelt sich also um eine reine Niveauverschiebung ohne Strukturveränderung. Der Grund hierfür wird sofort klar, wenn man den Vorgang in Matrizenform erfaßt. Die Veränderung der benötigten Kapazität bei allen Produkten und in allen Fertigungsstufen im gleichen Ausmaß entspricht einer Multiplikation der Matrix der Produktionskoeffizienten mit einem konstanten Faktor. Diese Rechenoperation beläßt die Beziehung der Koeffizienten untereinander unverändert. Analog dazu kann die gleichmäßige Veränderung der verfügbaren Kapazitäten als eine Multiplikation des Kapazitätsvektors mit einer konstanten Größe angesehen werden; das Ergebnis ist entsprechend.

- 1) Revidiertes Optimalprogramm = nach Datenvariation unter Verwendung der neuen Daten mittels Linearer Programmierung berechnetes Produktionsprogramm.
- 2) Rechnerische Realisation = Produktionsprogramm, so wie es bei Vorliegen der effektiven Daten nach Datenvariation in der L -axis realisiert werden kann.

Für die Ertragsgrößenvariation gilt die gleiche Aussage; allerdings ist die Auswirkung auf das Programm ganz anderer Natur. Wir erhalten eine wertmäßige Verschiebung, keine mengenmäßige. Dieser Unterschied ist wichtig, da, wie noch zu zeigen sein wird, hiervon unmittelbare Auswirkungen auf die Höhe der Abweichungen vom realisierbaren Optimum ausgehen.

Wie bei der gleichmäßigen Veränderung der Ausgangsdaten, so wird auch bei ungleichmäßiger Veränderung eine Strukturverschiebung¹⁾ vermieden, wenn die Variation bestimmte Schwellenwerte nicht überschreitet. Die Höhe der Schwellenwerte wird durch die Struktur der bestimmenden Größen - also durch die Matrizenstruktur - bestimmt.

Unter den genannten Bedingungen erfolgt also lediglich eine Niveaushift des vorbestimmten Produktionsprogramms, so daß die Programmplanung und die Programmrealisation durch die Datenvariation nicht berührt werden. Probleme ergeben sich offensichtlich nur, wenn Mindestmengen oder Absatzbeschränkungen im Programm zu beachten sind. Ansonsten wird durch die Ausnutzung der Kapazitäten im Rahmen des berechneten Programms das optimale Ergebnis realisiert, da die Produktionsstruktur nicht verändert werden muß.

1.12 Negative Datenvariation und realisiertes Programm

Bei der Umsetzung des Programms in die Praxis ergeben sich jedoch durch die Tatsache, daß die Abweichungen tatsächlich erst nach Vollzug des Programms oder frühestens gegen Ende der Planungsperiode festgestellt werden können, Schwierigkeiten.

Bei Verminderung der im Modell angesetzten verfügbaren Kapazität durch negative Abweichungen wird beispielsweise die

1) Von Strukturverschiebung wird nur dann gesprochen, wenn aus der Veränderung der Größen im Modell eine Verschiebung in der Programmstruktur resultiert.

Produktmenge nicht, wie im korrigierten Optimalprogramm unterstellt wird, anteilig bei den im Programm erfaßten Gütern verkürzt. Die zuerst im Fertigungsprogramm angesetzten Produkte werden vielmehr in der im ursprünglichen Programm bestimmten Menge hergestellt und die zuletzt zu fertigenden Produkte können nicht oder nicht in vollem Umfang erzeugt werden. Unter diesen Umständen ist die Realisation des Optimums nicht mehr möglich, da die dadurch hervorgerufene Umstrukturierung das Programm verändert.

Das Optimalprogramm des hier herangezogenen Beispiels lautet:

Produkt 1: 0,556 à 400,-;
Produkt 2: 3,793 à 370,-;
Produkt 7: 5,220 à 280,-;
Ergebnis: 3087,-

Bei Verminderung der verfügbaren Kapazität um 10% sieht das Optimalprogramm folgendermaßen aus:

Produkt 1: 0,509 à 400,-;
Produkt 2: 3,413 à 370,-;
Produkt 7: 4,698 à 280,-;
Ergebnis: 2782,-

Produktmenge und Ergebnis haben sich entsprechend um 10% vermindert.

Da sich die Korrektur aber erst nachvollziehen läßt, ergibt sich in der Praxis folgendes, von der Produktionsfolge bestimmtes Bild, wobei in diesem Beispiel unterstellt wird, daß jedes Produkt nur einmal in der Periode aufgelegt wird:

Fall 1) Produktionsfolge = Produkt 1, Produkt 2, Produkt 7.

Produkt 1: 0,566 à 400,-;
Produkt 2: 3,793 à 370,-;
Produkt 7: 4,091 à 280,-;
Ergebnis: 2771,-

Fall 2) Produktionsfolge: Produkt 1, Produkt 7, Produkt 2.

Produkt 1: 0,566 à 400,-;

Produkt 2: 2,740 à 370,-;

Produkt 7: 5,220 à 280,-;

Ergebnis: 2702,-

Fall 3) Produktionsfolge = Produkt 2, Produkt 7, Produkt 1.

Produkt 1: ---

Produkt 2: 3,793 à 370,-;

Produkt 7: 4,603 à 280,-;

Ergebnis: 2692,-

Fall 4) Produktionsfolge = Produkt 7, Produkt 2, Produkt 1.

Produkt 1: ---

Produkt 2: 3,118 à 370,-;

Produkt 7: 5,220 à 280,-;

Ergebnis: 2615,- ¹⁾

Wir erkennen, daß die Programmstruktur und damit das Ergebnis je nach der Fertigungsfolge mehr oder weniger stark verschoben werden. Der Fertigstellungsvollzug bestimmt, nach diesen Resultaten ist der Schluß zulässig, die Abweichungen der Berechnungsergebnisse vom tatsächlichen Produktionsergebnis mit. Bei der Beurteilung der Ergebnisabweichung ist zu unterscheiden nach

- Differenzen zwischen dem Ergebnis des ursprünglichen Optimalprogramms und dem realisierten Ergebnis
- Differenzen zwischen dem Ergebnis des Neuberechneten Optimalprogramms und dem realisierten Ergebnis.

Die im ersten Punkt genannte Differenz ist heranzuziehen, wenn Vergleichsrechnungen a priori zwischen linearen Programmierungsmethoden und konventionellen Verfahren angestellt werden, um

1) Fall 5) und Fall 6) mit der Produktionsfolge = Produkt 2, Produkt 1, Produkt 7 bzw. Produkt 7, Produkt 1, Produkt 2 wurden nicht aufgeführt, da sie grundsätzlich keine neuen Erkenntnisse aufzeigen.

hiermit die berechneten Ergebnisverbesserungen durch Einsatz der Programmierung in ihrer richtigen Größenordnung feststellen zu können.

Die im zweiten Punkt aufgeführte Differenz dient dazu, die Gewinn-einbußen durch Datenungenauigkeiten zu fixieren und die Fehler-grenzen der Linearplanung zu umreißen. Diese Aussage wird in den weiteren Ausführungen ausschließlich berücksichtigt.

Die Abhängigkeit der Ergebnisabweichung von der Datenungenauigkeit und von der Produktfolge in dem hier besprochenen Fall gleich-mäßiger, negativer Abweichungen der verfügbaren Kapazität zeigt die Aufstellung in Tabelle 5.1.

Aus den Zahlen lassen sich verschiedene Erkenntnisse über die Empfindlichkeit von Programmen gegenüber Datenvariationen ableiten. Zunächst kann festgehalten werden, daß für das Ausmaß der Ertragseinbuße sowohl die Höhe der Kapazitätsabweichung als auch die Produktfolge bestimmend ist. Dabei zeigt sich, daß die relative Ertragseinbuße (Punkt 4, Tab. 5.1) mit zunehmender Kapazitätsverminderung zwar in allen vier Fällen Veränderungen unterliegt, daß sich aber erhebliche Unterschiede in der Richtung und der Veränderungsrate erkennen lassen. In Punkt 4 entwickeln sich im Fall 1 die Abweichungen in gleicher Richtung wie die Kapazitätsverminderung, dagegen liegt in den Fällen 2 und 3 ein Wendepunkt bei 40% bzw. 30% Kapazitätsverminderung. Im Fall 2 beginnt die Entwicklung steigend, im Fall 3 sinkend.

Aus diesen Erscheinungen läßt sich der Schluß ziehen, daß der Ungenauigkeitsgrad bei den Daten zwar einen Einfluß hat, daß der aber durch den Einfluß anderer Faktoren überdeckt wird. Die Einwirkung dieser anderen Faktoren ist so groß, daß man bei bekannter Abweichung der einzugebenden Daten die Auswirkungen auf das Ergebnis nicht bezeichnen kann, wenn diese besagten anderen Faktoren und ihre Auswirkungen unbekannt sind. Die Bedeutung wird besonders nachdrücklich durch die Abweichung bei 5% Kapazitätsverminderung im Fall 4 demonstriert. Die Differenz zwischen

Tabelle 5.1:

1. Kapazitäts- verminderung	2. Ergebnis d. neuber. Optimums	3. realisiertes Ergebnis		4. Abweichungen zwischen Pos. 2 u. 3			
		Fall 1	Fall 2, Fall 3	Fall 3	Fall 4	Fall 1	Fall 2, Fall 3, Fall 4 jeweils in %
5%	2933.-	2926	2880	2818	2797	0,2	1,8 3,9 4,9
10%	2779.-	2769	2702	2692	2615	0,4	2,8 3,1 5,9
20%	2470.-	2455	2336	2441	2252	0,6	5,4 1,2 8,8
30%	2161.-	2142	1972	2140	1889	0,9	8,7 1,0 12,6
40%	1852.-	1828	1610	1828	1526	1,3	13,1 1,3 17,6
50%	1543.-	1515	1355	1515	1255	1,8	12,2 1,8 18,7
60%	1234.-	1204	1101	1209	1004	2,4	10,8 2,0 18,6
70%	925.-	893	846	907	753	3,5	8,5 1,9 18,6
80%	617.-	582	590	605	502	5,7	4,4 1,9 18,6

neuberechnetem Optimum und realisiertem Ergebnis ist größer als alle genannten Abweichungen im Fall 3. Weiter ist beachtlich, daß die entsprechenden Zahlen im Fall 1 bei 50% und im Fall 2 bei 5% beispielsweise gleich 1,8 sind.

Die Veränderungen mit der Fertigungsfolge sind in der Regel bei den vorliegenden Berechnungen größer als die mit der Kapazitätsverminderung. Daraus ist abzuleiten, daß zwar Datenungenauigkeiten bestehen müssen, um die hier beschriebenen Vorgänge auszulösen, daß dabei aber die Höhe der tatsächlichen Abweichung von sekundärer Bedeutung ist. Den dominierenden Einfluß übt die Fertigungsfolge auf die effektiven Ertragseinbußen aus.

Vergleicht man den Verlauf und die absolute Höhe der in Tabelle 5.1, Punkt 4 erfaßten Zahlen, dann stellt man fest, daß beide von der Fertigungsfolge bestimmt werden. In einer graphischen Darstellung kommt diese Tatsache noch besser zum Ausdruck, wir sehen, daß die Größe der Kapazitätsverminderung keinen bestimmenden Einfluß ausüben kann (Abb. 5-1). Die Fertigungsfolge bestimmt die Richtung der Entwicklung, die Lage der Wendepunkte und die Steigung der Kurven, d.h. die relative Veränderung der Abweichungen.

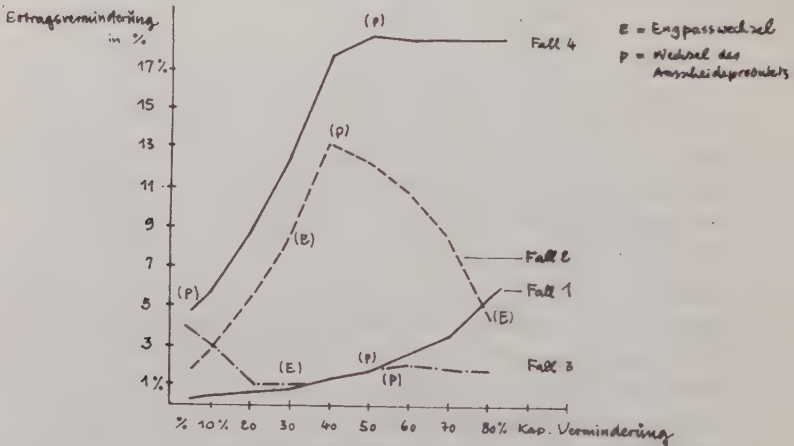
Für die Untersuchung ist nun wichtig, die einzelnen Faktoren zu ermitteln, die den Verlauf und die Höhe der Ertragseinbußen über die Fertigungsfolge beeinflussen und die Möglichkeiten festzulegen, diese Erkenntnisse für die Verbesserung der zu erreichenden Ergebnisse einzusetzen.

Zunächst zeigt die Analyse der durchgerechneten Fälle, daß die Ertragseinbuße mit der Größe des Ertragsanteils der zuletzt in der Fertigungsfolge angeordneten Produkte schwankt. Zum Beispiel läßt der Vergleich zwischen den Ergebnissen aus den vier genannten Fällen bei einer Kapazitätsverminderung um 5% erkennen, daß die Ertragsverminderung groß (klein) ausfällt, wenn die im Fertigungsablauf zuletzt gefertigte Produktart einen Ertrag pro gefertigter Einheit abwirft, der über (unter) dem Mittelwert der Erträge des berechneten Produktionsprogramms liegt.

Beziehungen zwischen Ertrags- und Kapazitätsveränderungen bei der Realisation des Optimalprogrammes.

5-1

Prozentuale Veränderung gegenüber der korrigierten optimalen Lösung.



5-2

Absolute Veränderung gegenüber der korrigierten optimalen Lösung.
 (Fall 2 + 4)

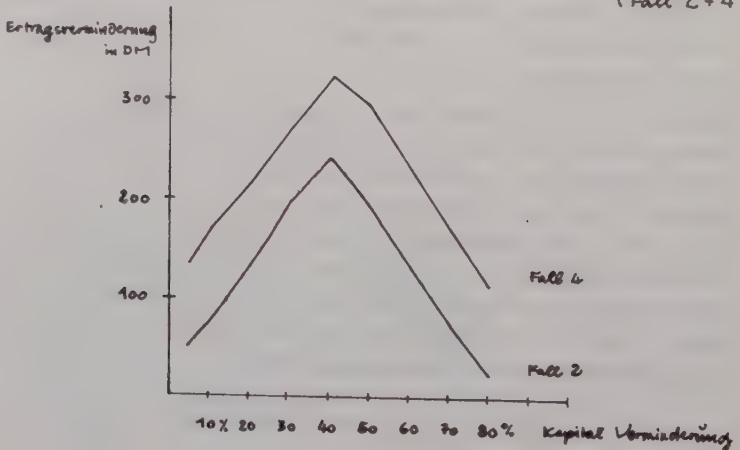


Tabelle 5.2

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Fertigungsfolge	1;2;7	1;7;2	2;7;1	7;2;1
Ertragsabweichung	0,2%	1,8%	3,9%	4,9%

Das Produkt mit dem höchsten Ertrag pro Einheit ist das Gut 1, als nächstes kommt Gut 2 und schließlich Gut 7¹⁾. Entsprechend ist auch nach der Anordnung dieser Güter im Fertigungsprozeß die Höhe der Ertragseinbuße bei 5% Kapazitätsverminderung. In Fall 3 und Fall 4 ist das Gut mit dem höchsten Ertrag pro Einheit an die letzte Stelle der Fertigungsfolge gesetzt worden; bei Verringerung der verfügbaren Maschinenstunden wird das Programm somit zuerst bei diesem Produkt gekürzt werden müssen. Es überrascht somit nicht, daß hier die größten Abweichungen festgestellt werden können. Im Fall 1 steht Produkt 7 an letzter Stelle und hier ist der Ausfall folglich am geringsten.

Fall 3 und 4, bei denen jeweils Gut 1 an letzter Stelle rangiert, unterscheiden sich im Ertragsabfall dadurch, daß die Ertragsanteile der vorangehenden Produkte unterschiedlich sind. Es kommt in dem hier als Beispiel herangezogenen Programm noch hinzu, daß das Gut 1 nur in relativ kleinen Mengen am Programm beteiligt ist und daß durch die Kapazitätsverminderung um 5% bereits eine vollständige Ausschaltung dieses Gutes erfolgte.

Betrachten wir nun die Zahlen in der Tabelle 5.1 Punkt 4 noch einmal unter dem Blickwinkel der neuen Beobachtungen. Wir müssen dann feststellen, daß die eben aufgestellte Rangfolge nur für die ersten Stufen der Kapazitätsverminderung gilt. Sie wird später offensichtlich noch von anderen Bedingungen bestimmt. Wird nun dadurch die erste Aussage widerlegt?

Die herausgearbeiteten Einflußmomente bleiben gültig, jedoch sind Wirkungsart und gewisse modifizierende Bedingungen noch nicht vollständig erfaßt. Ergänzend muß nämlich noch berücksichtigt werden, daß mit jedem Ausscheiden eines Gutes die Relation

1) Höchster Ertrag pro eingesetzter Kapazitätseinheit des Engpaßfaktors.

zwischen dem tatsächlichen Ergebnis und dem Ergebnis des korrigierten Optimalprogramms erneut verschoben werden. Durch diese Entwicklungssprünge wird die Grundtendenz überlagert, die Ertragseinbußen verändern sich deshalb in den aufgeführten Fällen so unterschiedlich. Die bisher ausgeschiedenen bzw. gerade ausscheidenden Produkte bestimmen das Niveau der Ertragseinbuße, während die noch ausscheidenden Produkte die Entwicklung diktieren.

Der Vergleich zwischen dem Fall 2 und 4 läßt dies deutlich erkennen (Abb. 5-2). Die graphische Darstellung setzt bei 5% Kapazitätsverminderung an, d.h. die bei diesem Punkt erreichte Höhe wurde durch die bisher ausgeschiedenen Produkte bestimmt, im Fall 2 sind Produkte des Gutes 2, im Fall 4 sind Produkt 1 ganz und Teile des Produkts 2 fortgefallen. Die Entwicklung von diesem Punkt an wird allein durch die jetzt zu verdrängenden Produkte bzw. die Erträge dieser Produkte beeinflusst. Da die in der Fertigungsfolge noch vorhandenen Produkte in beiden Fällen gleich sind (Produkte 7 und 2), geht die Entwicklung, von hier ab, gleichgerichtet weiter. Die Kurven behalten lediglich die Niveauunterschiede aus dem vorangegangenen Abschnitt bei.

Vergleicht man Fall 3 und 4 auf entsprechende Weise (Abb. 5.3), dann bestätigt sich hier die Aussage. Die beiden Fälle verlaufen vor der 5%-Grenze gleich (beide mit dem Gut 1), aber danach sinkt die Einbußquote bei Fall 3 (Gut mit niedrigstem Ertragsanteil folgt auf Gut 1) und bei Fall 4 steigt die Quote weiter (hier folgt Gut 2 mit dem höheren Ertragsanteil).

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß Höhe und Entwicklung der Ertragseinbuße als Resultanten aus dem Verhältnis zwischen durchschnittlichem Einheitsertrag des korrigierten Optimalprogramms und dem Ertrag pro Einheit des ausscheidenden bzw. der bisher schon ausgeschiedenen Produkte beim tatsächlich realisierten Programm definiert werden können. Wird die Ertragseinbuße aber durch die Beziehung einer Durchschnittsgröße zu den Einzelgrößen, aus denen der Durchschnitt gebildet wird, beeinflusst,

dann erhält automatisch die Struktur der hier zusammengefaßten Größen besondere Bedeutung. Liegen die Ertragsanteile der im Programm erfaßten Produkte weit gestreut oder wirken einzelne Extremwerte besonders stark auf den Durchschnitt ein, dann ergeben sich tendenziell höhere Ertragseinbußen als bei homogenen Massen. Die Bedeutung der Programm- und Ertragsstruktur tritt ganz eindeutig hervor. Wir werden an anderer Stelle auf diesen Fragenkreis noch eingehen.

Neben der Fertigungsfolge, der Höhe des Ertragsanteils sowie der Programm- und Ertragsstruktur wirkt noch ein anderes Moment auf die Abweichungen zwischen den zu vergleichenden Programmen ein, nämlich der sogenannte Engpaßwechsel.

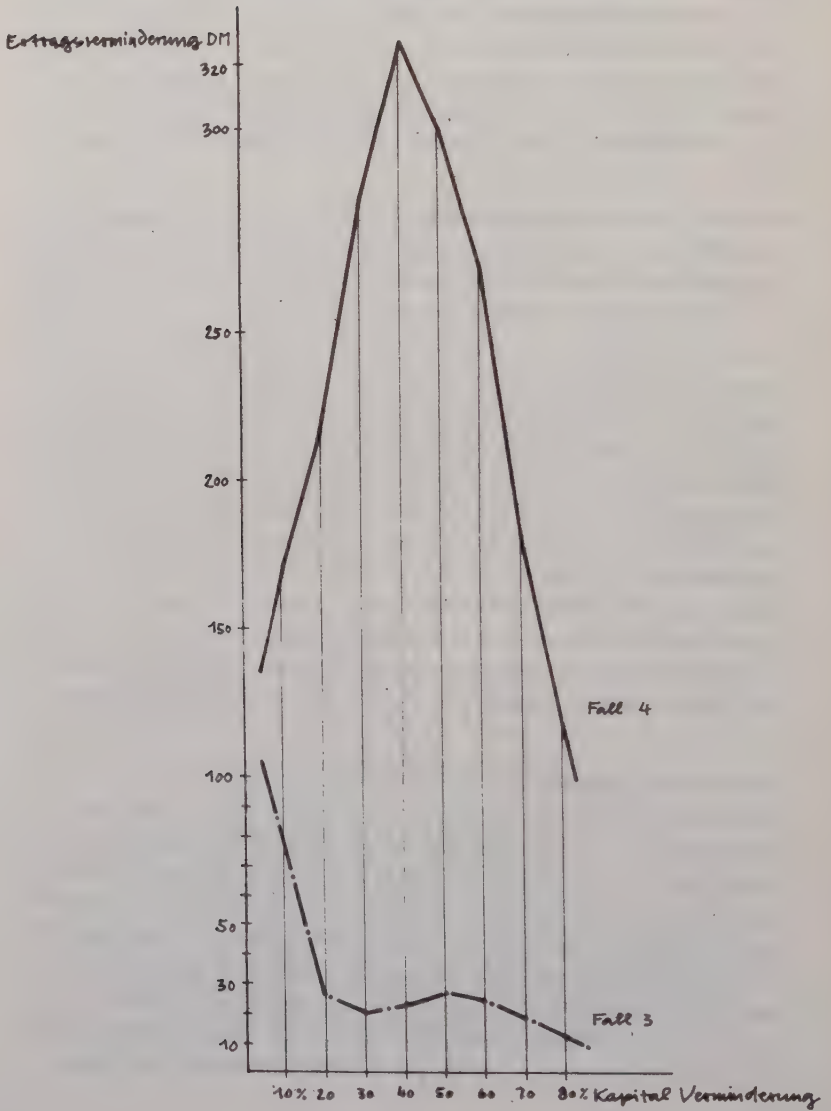
Obgleich in diesem Kapitel nur die Datenvariation ohne Veränderung der Programmstruktur im korrigierten Optimalprogramm Gegenstand der Untersuchung ist und man hier keine Auswirkungen durch die Engpaßverschiebungen erwarten sollte, beeinflußt der Engpaßwechsel die Ergebnisse im tatsächlich realisierten Programm. Ein Engpaßwechsel liegt bei den Fällen 2 (Engpaßbereich bis 30% Kapazitätsverminderung = Kostenstelle I, von diesem Punkt an Kostenstelle III) und 3 (bis 20% Kostenstelle I, von da an Kostenstelle IV) des Berechnungsbeispiels auf Seite 9 vor. Die Auswirkungen sind je nach der Kapazitätsstruktur und der Engpaßsituation unterschiedlich. Für den Fall 3 können wir nach Tabelle 5.1 eine relativ starke Veränderung des Ertragsabfalls registrieren.

1.13 Positive Datenvariation und realisiertes Programm

Im Gegensatz zur Einschränkung der Kapazität, sei es durch Verminderung der verfügbaren Kapazität oder durch Erhöhung des Kapazitätsbedarfs pro gefertigter Einheit, läßt sich die Erweiterung der Kapazität durch positive Datenvariation auch noch beim Vollzug der Fertigung in die Planung einbauen. Sobald das berechnete Optimalprogramm abgewickelt ist oder die Fertigung dem Ende zugeht, wird man die noch nicht verplante Kapazität erfassen können. Da von gleichbleibenden Verhältnissen ausgegangen werden muß - das Programm hat sich nur im Niveau verschoben, die Struk-

5-3

Absolute Veränderung gegenüber der korrigierten optimalen Lösung.
(Fall 3 + 4.)



tur bleibt durch die Korrektur unberührt - wird die verfügbare Restkapazität mit den im Optimalprogramm enthaltenen Produkten, und zwar in den Relationen wie in der Ausgangsberechnung, belegt.

Diese Anpassungsform wird sich aber in der Praxis nicht realisieren lassen, da die zu fahrenden Lose bei den normalerweise zu erwartenden Abweichungen zu klein werden, um auch nur annähernd noch zu optimalen Bedingungen zu kommen. In diesen Fällen wird man sich darauf beschränken müssen, die noch verfügbare Kapazität mit dem ertragreichsten Produkt bzw. je nach Losgrößenverhältnissen mit den ertragreichsten Produkten auszunutzen.

Der Vorteil bei positiven Abweichungen liegt demnach darin, daß man noch im Fertigungsablauf Anpassungsmöglichkeiten besitzt, so daß die Abweichungen vom Optimum möglichst klein gehalten werden können. Bei der Kapazitätsverminderung muß dagegen schon bei Festlegung des Fertigungsablaufs die Vorsorge für die Eindämmung der Ertragseinbußen getroffen werden.

Bei der Vergrößerung der verfügbaren Kapazität um 10% hat das korrigierte Programm folgende Zusammensetzung:

Produkt 1: 0,612 à 400,-;

Produkt 2: 4,172 à 370,-;

Produkt 7: 5,742 à 280,-;

Ergebnis: 3396,-.

Die tatsächliche Durchführung erbringt folgende alternative Durchführungsmöglichkeiten, wobei aus Vereinfachungsgründen unterstellt wird, daß zur Erreichung optimaler Losgrößen nur noch ein Produkt im Nachtragsprogramm gefertigt werden kann.

1. Fall: Optimalprogramm = Ertrag von	3087,-	
+ Produkt 1 aus der Überschußkapazität		
(Engpaß bei Fertigungsstelle II)		
0,67 à 400,- =	<u>268,-</u>	<u>3355,-</u>
		=====
2. Fall: Optimalprogramm	3087,-	
+ Produkt 2 (Engpaß = Fert.Stelle IV)		
0,82 à 370,- =	<u>303,-</u>	<u>3390,-</u>
		=====

3. Fall: Optimalprogramm + Produkt 3 (Engpaß = Fert.Stelle IV) 0,77 à 360,-	3087,- <u>277,-</u>	3364,- =====
4. Fall: Optimalprogramm + Produkt 4 (Engpaß = Fert.Stelle IV) 0,82 à 360,-	3087,- <u>295,-</u>	3382,- =====
5. Fall: Optimalprogramm + Produkt 5 (Engpaß = Fert.Stelle II) 0,77 à 350,-	3087,- <u>270,-</u>	3357,- =====
6. Fall: Optimalprogramm + Produkt 6 (Engpaß = Fert.Stelle II) 0,67 à 330,-	3087,- <u>221,-</u>	3308,- =====
7. Fall: Optimalprogramm + Produkt 7 (Engpaß = Fert.Stelle I) 0,89 à 280,-	3087,- <u>249,-</u>	3336,- =====
8. Fall: Optimalprogramm + Produkt 8 (Engpaß = Fert.Stelle II) 0,67 à 275,-	3087,- <u>184,-</u>	3271,- =====

Die beste Lösung ergibt sich bei der zusätzlichen Produktion des Gutes ", wobei der Ertrag des korrigierten Optimalprogramms nur geringfügig unterschritten wird (0,18%).

Die Ertragseinbuße wird bei Kapazitätsvergrößerungen durch die optimale Losgröße bestimmt. Je größer die erforderlichen Lose sind, desto schlechter sind die Anpassungsmöglichkeiten in der Nachplanung und damit werden die Ertragseinbußen durch Verfehlen der Optimalsituation notwendigerweise umso größer. Auf der anderen Seite beeinflusst die Größe der Kapazitätsabweichung¹⁾ und die Zahl der im Programm erfaßten Produkte ebenfalls die Quote der Ertragseinbuße²⁾.

1) Je größer die Abweichung, desto mehr zusätzliche Produktionsmöglichkeiten.

2) Je größer die Zahl der Produkte im Programm, desto schwerer wird die genaue Anpassung der Nachtragsplanung.

Die effektiven Einbußen werden demnach durch die Beziehungen zwischen der Struktur des berechneten Optimalprogramms und der unter Beachtung der Mindestproduktionsmengen (Losgrößenbegrenzung) festgelegten Struktur der Nachtragsprogramme fixiert.

Kann aufgrund der Begrenzungen, die die Losgrößenbestimmung mit sich bringt, nicht das volle Programm in die Nachtragsplanung übernommen werden, dann erfolgt die Auswahl nach den Kriterien: relativ günstigster Engpaß und größter Ertrag pro eingesetzter Einheit dieser Engpaßkapazität.

Wir sahen an den angeführten acht Fällen, daß die bestimmenden Engpässe bei den einzelnen Produkten variieren. Fertigungsstelle I ist Engpaß bei Fall 7, Fertigungsstelle II bei 1, 5, 6 und 8, schließlich Fertigungsstelle IV bei Fall 2 - 4. Im vorliegenden Fall erwies sich die Fertigungsstelle IV als der relativ günstigste Engpaß und von den drei in Betracht zu ziehenden Produkten hatte Produkt 2 den höchsten Ertrag pro Einheit. Die Wahl fiel auf Produkt 2.

Die positiven und negativen Abweichungen der Ertragsdaten haben, wenn sie alle Produkte im gleichen Verhältnis treffen, nur auf die Ergebnishöhe via Programmniveau einen Einfluß - sowohl im korrigierten Optimalprogramm wie auch im tatsächlich realisierten Programm - und es gibt keine Ertragseinbußen aufgrund derartiger Datenvariationen.

1.2 Datenvariation mit Veränderung der Programmstruktur

1.21 Die Komponenten der Ergebnisveränderung

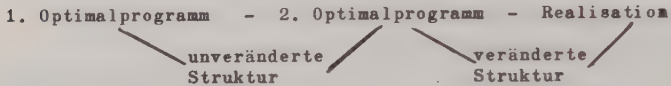
Wenn die im Berechnungsverfahren zu berücksichtigenden Daten über die Schwellenwerte hinaus verändert werden, dann ergeben sich Strukturverschiebungen zwischen korrigiertem und ursprünglichem Optimalprogramm.

Bei der Analyse der hier anfallenden Probleme werden wir ebenfalls von der Einteilung: ursprüngliches Optimalprogramm,

korrigiertes Optimalprogramm und tatsächlich realisiertes Programm ausgehen¹⁾.

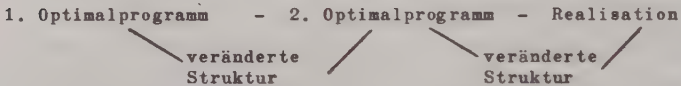
Wir haben festgestellt, daß bei gleichbleibender Koeffizienten-Struktur Strukturverschiebungen im Programm nur zwischen dem 2. Optimalprogramm und der Realisation auftreten. Diese Beziehung läßt sich schematisch erfassen:

I.



Bei den nun zu untersuchenden Verhältnissen werden auch die Beziehungen zwischen den beiden Optimalprogrammen gestört; das Schema mußte danach folgendermaßen angepaßt werden, wobei die Anordnung der drei Programme zueinander zunächst unverändert übernommen wird:

II.



Der Unterschied zwischen I. und II zeigt, daß die Störungen bei ungleichmäßiger Datenvariation durch zwei separate Quellen hervorgerufen werden. Bei gleichgerichteten Auswirkungen auf das Ergebnis sind größere Abweichungen als in dem bisher besprochenen Fall zu erwarten. Diese Feststellung ist insofern wichtig, als die unter II. aufgeführte Beziehung die für die praktische Durchführung allein maßgebenden Verhältnisse wiedergibt. Die unter I. dargestellten Beziehungen haben lediglich für die Ableitung exakter Aussagen über die Auswirkung der Datenungenauigkeit einen Wert.

Konnten wir in Fall I den Vergleich auf das 2. Optimalprogramm und die Realisation beschränken, so müssen wir in Fall II die

1) Im weiteren werden das ursprüngliche Optimalprogramm
= 1. Optimalprogramm, das korrigierte Optimalprogramm
= 2. Optimalprogramm, das tatsächlich realisierte Programm
= Realisation.

Einflüsse, die von den Veränderungen im 1. Optimalprogramm ausgehen, in die Betrachtung einbeziehen.

Grundsätzlich läßt sich feststellen, daß die Verhältnisse zwischen 1. Optimalprogramm und Realisation genau so liegen wie die unter Punkt 1.1 beschriebenen Beziehungen zwischen 2. Optimalprogramm und Realisation. Jede Datenungenauigkeit führt unmittelbar zu Veränderungen des Programms.

Zum Beispiel zeigt unser Ausgangsfall¹⁾ bei einer Veränderung der verfügbaren Kapazität in Fertigungsstelle 1 um +10%, in Fertigungsstelle 2 um $\pm 0,5\%$, in Fertigungsstelle 3 um ± 0 und in Fertigungsstelle 4 um $\pm 0,10\%$, daß die tatsächliche Durchführung zu folgenden alternativen Programmen führen muß, je nachdem, welche Fertigungsfolge gewählt wurde:

a) Produkt 1 = 0,556 à 400,-;
Produkt 2 = 3,7926 à 370,-;
Produkt 7 = 4,1 à 280,-
Ergebnis: 2774,-

b) Produkt 1 = -,-;
Produkt 2 = 2,9726 à 370,-;
Produkt 7 = 5,22 à 280,-
Ergebnis: 2784,-

c) Produkt 1 = -,-;
Produkt 2 = 3,7926 à 370,-;
Produkt 7 = 4,864 à 280,-
Ergebnis: 2784,-

d) Produkt 1 = -,-;
Produkt 2 = 3,5316 à 370,-;
Produkt 7 = 5,22 à 280,-
Ergebnis: 2768,-

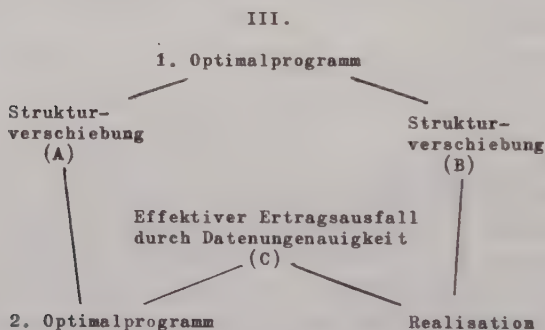
Da das 1. Optimalprogramm bei Fertigungsbeginn als richtig unterstellt wird, kann bei Bekanntwerden der Abweichung am Ende der Fertigungsperiode die Anpassung nur noch im früher bestimmten Rahmen erfolgen.

Wir haben hier folglich primär mit den gleichen Einflußgrößen zu rechnen wie bei der Datenvariation ohne Strukturverschiebung. Der Wirkungseffekt ist, wie das Beispiel erkennen läßt, so, als ob sich

1) Vgl. Ergebnisse in Anlage 1.

ausschließlich die dominierende Kapazitätseinheit (Engpaß) im Niveau verschoben hat. Die Realisation wird im Vergleich zum 1. Optimalprogramm Veränderungen aufweisen, die denen aus der Beziehung zwischen 2. Optimalprogramm und Realisation in Punkt 1.1, soweit es Wirkungsfaktoren und Entstehungsart angeht, gleichen. Die Ausführungen gelten demnach an dieser Stelle entsprechend¹⁾.

Die Realisation wird zwar vom 1. Optimalprogramm bestimmt, doch kann der uns interessierende effektive Ausfall aus den Abweichungen vom erzielbaren Optimum nur durch das Verhältnis zwischen 2. Optimalprogramm und Realisation fixiert werden. Wir müssen demnach das 2. Optimalprogramm als erklärende Größe in die Betrachtung einführen. Dabei muß das Schema II auf Seite 21 korrigiert werden, da wir festgestellt haben, daß die Realisation unmittelbar vom 1. Optimalprogramm determiniert wird. Für die weiteren Ausführungen gilt deshalb:



Wir erkennen an der Darstellung, daß die Differenz zwischen den Ergebnissen im 2. Optimalprogramm und in der Realisation durch die Empfindlichkeit bzw. Stabilität bei A und B - ausgedrückt durch Distanz zwischen den betreffenden Programmen - und durch die Veränderungsrichtung beider Größen gegeben wird. Wenn die Strukturverschiebungen A und B (nicht) gleichgerichtet sind, d.h. beide Differenzen gegenüber dem Ergebnis des 1. Optimalprogramms

1) Unterschied zu Punkt 1.1: Abweichungen im Deckungsbeitrag können unter den Voraussetzungen des Punktes 1.2 ebenfalls Strukturverschiebungen im Programm hervorrufen.

(nicht) dasselbe Vorzeichen haben, wird der effektive Ertragsausfall kleiner (größer) als die Abweichung zwischen 1. Optimalprogramm und Realisation.

Gehen wir noch einmal auf das Berechnungsbeispiel zurück¹⁾ und greifen wir folgenden Fall heraus:

Das 1. Optimalprogramm lautet

Produkt 1 = 0,556 à 400,-;
Produkt 2 = 3,7926 à 370,-;
Produkt 7 = 5,22 à 280,-;
Ergebnis: 3087,-

das 2. Optimalprogramm ergibt

Produkt 2 = 0,1985 à 370,-;
Produkt 5 = 2,3158 à 350,-;
Produkt 7 = 7,0336 à 280,-;
Ergebnis = 2853,-.

In der Realisation wird ausgewiesen

	(A)	Differenz zu	(B)	(C)			
a) Ergebnis = 2774,-	{		./.	313,-	./.	79,-	
b) Ergebnis = 2784,-			./.	303,-	./.	69,-	
c) Ergebnis = 2784,-		./.	234,-	./.	303,-	./.	69,-
d) Ergebnis = 2768,-			./.	319,-	./.	85,-	

Im vorliegenden Fall haben wir es mit einer gleichgerichteten Veränderung zu tun; der Effekt entspricht den früheren Feststellungen, die Abweichungen A und B sind größer als die zu C; letztere ist die Differenz aus A und B ($C = B - A$).

Ein anderes Beispiel zeigt den Fall gegenläufiger Ergebnisveränderung. Die verfügbare Kapazität wurde in folgender Form durch Datenvariation verändert:

Fertigungsstelle 1 = ./. 5%; | Fertigungsstelle 2 = +10%; |

Fertigungsstelle 3 = ./. 5%; | Fertigungsstelle 4 = + 5%. |

1. Optimalprogramm (wie oben):

Ergebnis: = 3087,-

2. Optimalprogramm:

Produkt 1 = 1,8286 à 400,-;
Produkt 2 = 3,6541 à 370,-;
Produkt 5 = 0,6704 à 350,-;
Produkt 7 = 3,4355 à 280,-;
Ergebnis: = 3280,-

1) Vgl. Anlage 1, ferner auch Seite 22.

Realisation:

- a) Produkt 1 = 0,556 à 400,-;
 Produkt 2 = 3,7926 à 370,-;
 Produkt 7 = 4,699 à 280,-;
Ergebnis: = 2941,-
- b) Produkt 1 = 0,556 à 400,-;
 Produkt 2 = 3,227 à 370,-;
 Produkt 7 = 5,22 à 280,-;
Ergebnis: = 2878,-
- c) Produkt 1 = -.-;
 Produkt 2 = 3,7926 à 370,-;
 Produkt 7 = 5,05 à 280,-;
Ergebnis: = 2817,-
- d) Produkt 1 = -.-;
 Produkt 2 = 3,6066 à 370,-;
 Produkt 7 = 5,22 à 280,-;
Ergebnis: = 2796,-

Differenz zu			
	(A)	(B)	(C)
a)	{ +193,-	./ .146,-	./ .339,-
b)		./ .209,-	./ .402,-
c)		./ .270,-	./ .463,-
d)		./ .291,-	./ .484,- ¹⁾

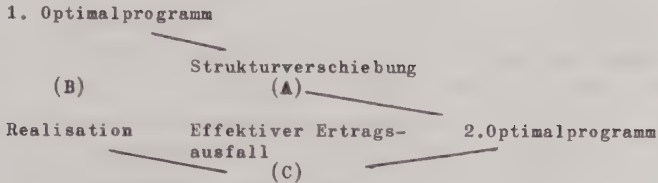
Wenn wir die Eingabedaten für die benötigten Kapazitäten - die Produktionskoeffizienten - verändern, erhalten wir die gleichen Ergebnisse wie bei den zuvor geschilderten Datenvariationen bei den verfügbaren Kapazitäten.

Bei den Deckungsbeiträgen kann man davon ausgehen, daß die Programmzusammensetzung beim Übergang vom 1. Optimalprogramm zur Realisation nicht geändert wird, da während der Fertigungsperiode keine Informationen über Veränderungen dieser Größen vorliegen. Von Datenvariationen wird hier nur die Beziehung zwischen 1. und 2. Optimalprogramm berührt. Die Ertragseinbuße ist allein aus der letztgenannten Beziehung abzuleiten; die nachstehend aufgeführte Darstellung läßt diesen Zusammenhang

1) Im Fall d) beträgt die Ergebnisabweichung vom theoretisch möglichen Optimum immerhin 14,8% bei einer Veränderung der Kapazitäten in den Engpaßstellen um ± 5%.

erkennen¹⁾:

IV.



1.22 Die Gesamtabweichung

Die effektive Ertragseinbuße durch ungenaue Informationen (= C) setzt sich aus den Veränderungen der Beziehungen A und B zusammen; Vorzeichen und Größe von A und B bestimmen demnach C.

A wird durch die Datenungenauigkeit und die Modellstruktur beeinflusst, wobei die Engpaßfaktoren für die Stabilität des Programms bzw. für das Abweichungsrisiko entscheidend sind.

Bei B beeinflussen im wesentlichen Fertigungsfolge, Ertragsrelationen zwischen den Produkten und optimale Losgröße das Abweichungsrisiko.²⁾

Das Vorzeichen bei A und B entspricht jeweils dem Vorzeichen der Datenabweichung beim wirksamen Engpaßbereich bzw. Engpaßfaktor, soweit die Kapazitätsbedingungen betroffen sind. Bei den Deckungsbeiträgen haben wir ausschließlich die Größe A zu beachten.

Da die wirksamen Engpaßfaktoren im 2. Optimalprogramm nicht mit denen in der Realisation identisch sein müssen und auch häufig tatsächlich nicht identisch sind, können die Größen A und B voneinander abweichende Vorzeichen haben. Die Unterschiede in den Kapazitätsbedingungen (Lage des wirksamen Engpaß) beruhen auf der verschiedenartigen Anpassungsform an die Datenveränderung

1) Die Beziehung zwischen 1. Optimalprogramm und Realisation bleibt bei der Betrachtung der Programmstruktur unverändert; sobald die Preise der Produkte eingeführt werden, entsteht in Höhe der Preisveränderung ein Unterschied.

2) Vgl. Ausführungen unter Punkt 1.12 und 1.13.

- das 2. Optimalprogramm ist vollkommen neu berechnet, die Realisation ist ein verkürztes oder erweitertes 1. Optimalprogramm.

Grundsätzlich sind vier Kombinationsformen zwischen den Größen A und B denkbar, nämlich

- (1) beide mit positivem Vorzeichen
- (2) beide mit negativem Vorzeichen
- (3) - (4) eine der Größen mit negativem, die andere mit positivem Vorzeichen.

Zusätzlich ist die zuvor angeführte Bedingung bei Variation der Deckungsbeiträge zu berücksichtigen, nach der dort nur die Größe A auftritt. Wir können in diesen Fällen also grundsätzlich

- (5) A mit positivem oder
- (6) A mit negativem Vorzeichen haben.

Nun ergeben sich aus früheren Ausführungen bereits Einschränkungen dieser Auswahl und die Überlegung, daß die Größe C¹⁾ nur negativ bzw. gleich Null sein kann, engt den Bereich weiter ein.

Ist $C \leq 0$, dann kann die Beziehung $C = B - A$ auch als

$$B - A \leq 0$$

ausgedrückt werden.

Wenden wir die sechs Kombinationsformen der Größen A und B auf diese Beziehung an, so erhalten wir für Fall

- (1) +A; +B; $B - A \leq 0$; gültig, wenn $A \geq B$; ²⁾
- (2) -A; -B; $-B + A \leq 0$; gültig, wenn $A \leq B$;
- (3) +A; -B; $-B - A \leq 0$; ohne Einschränkung gültig;
- (4) -A; +B; $B + A \leq 0$; gültig, wenn $A = 0$; $B = 0$;
- (5) +A; --; $+A \leq 0$; gültig, wenn $A = 0$;
- (6) -A; --; $-A \leq 0$; ohne Einschränkung gültig.

Bedeutung haben demnach nur die Kombinationsformen 1 bis 3 und 6.

1) C verstanden als Abweichung der Realisation vom 2. Optimalprogramm. Es ist nicht denkbar, daß sich das tatsächlich verwirklichte Programm durch höhere Ergiebigkeit auszeichnet als das 2. Optimalprogramm.

2) Hier A und B als absolute Beträge gesehen.

Die Größe A wird durch die beiden jeweils eindeutig bestimmten Optimalprogramme gegeben, sie ist somit selbst in jedem Fall determiniert. Für die Größe B ist dagegen nur ein Schwankungsbereich anzugeben, in dem sie erst durch die gewählte Anpassungsform festgelegt wird. Wir können allerdings auch hier einen Fixpunkt in der Mindestabweichung - unterer Schwankungspunkt - angeben. Die Größe B ist somit zu unterteilen in

- a) die Grundabweichung B_1 , die nicht durch Disposition beeinflusst werden kann, und
- b) die dispositionsbestimmte Zusatzabweichung B_2 .

B_1 wird durch die Ertragsverhältnisse bei den Produkten und andere betriebliche Gegebenheiten bestimmt, B_2 wird durch die Auswahl zwischen den möglichen Anordnungsformen im gegebenen Rahmen festgelegt.

Verbinden wir die hier gewonnenen Erkenntnisse mit den als Wichtig anzusehenden Kombinationsformen, dann gilt für

- Kombinationsform (6): die Abweichung ist in ihrem Betrag eindeutig bestimmt.
- Kombinationsform (1): die Abweichung ist in ihren Grenzpunkten eindeutig festgelegt, nämlich zwischen 0 und A.
- Kombinationsform (2): die Abweichung ist in ihren Grenzpunkten 0 und B festgelegt, wobei der Punkt B seinerseits innerhalb bestimmter Grenzen variabel ist.
- Kombinationsform (3): die Abweichung ist nicht eindeutig gegeben.

In der Abstufung werden die unterschiedlichen Bestimmtheitsgrade der Abweichungen und die verschiedenen Schwierigkeitsgrade, die Beziehung zwischen Datenungenauigkeit und Ergebnisveränderung in die Programmberechnung einzubauen, sichtbar.

2. Effektiver Ertragsausfall durch Datenungenauigkeit

2.1 Größe und Häufigkeit der Datenvariation als Bestimmungsfaktor.

Die Größe der Abweichung A hängt von der Ungenauigkeit der betrieblichen Information ab. Beschränken wir uns in diesem Zusammenhang auf die Eingabedaten und lassen wir die von den Modell-

ansätzen herrührenden Einflüsse unberücksichtigt, dann gibt uns die für die Daten feststellbare Unsicherheit einen gewissen Aufschluß über die Abweichung A.

Das Fertigungsergebnis ist gleich der Summe aus den Ergebnissen der einzelnen Kombinationsvorgänge in der Fertigungsperiode. Zur Bestimmung der Beziehungen zwischen Datenungenauigkeit und Größe der Abweichung A müssen wir deshalb bis auf den einzelnen Kombinationsvorgang zurückgehen. Es genügt demnach nicht, nur die Fehlerbereiche der in die Programmierung eingehenden Monatsdurchschnitte zu berücksichtigen; wir müssen auch die Fehlerverteilung bei den Einzelgrößen innerhalb der Fertigungsperiode in die Betrachtung einbeziehen.

Sind die Fehlerfelder bei den einzelnen Datengruppen abgesteckt, dann sind die aus dem Zusammenspiel der Ungenauigkeiten aller Berechnungsgrößen herrührenden Ergebniseinwirkungen zu bestimmen.

2.11 Fehlerverteilung bei den einzelnen Datengruppen

Die Verteilung der realisierten Istwerte um die eingegebenen geplanten Istwerte wird, wie in dem hier nicht veröffentlichten Teil der Arbeit abgeleitet werden konnte, zum Teil von zufälligen und zum Teil von systematischen Störfaktoren bestimmt. Über die Datenungenauigkeit läßt sich aber a priori nur dann mit ausreichender Sicherheit etwas sagen, wenn man den Einfluß systematischer Fehler von vornherein ausschalten kann oder aber wenn sie im Vergleich zu den zufallsbestimmten Abweichungen unbedeutend sind.

In anderem Zusammenhang konnte festgestellt werden, daß der Einfluß zufällig auftretender Störgrößen umso stärker wird, je kleiner die Datenerfassungseinheiten gewählt werden. Da zur Festlegung der Fehlerverteilung ohnehin auf die kleinste Erfassungseinheit, auf den einzelnen Kombinationsakt, herunterzugehen ist, wird durch diesen Ansatz das Gewicht systematischer Fehler in der Vergangenheit deutlicher. Ob und wie weit damit aber schon gewährleistet ist, daß die Fehlerbereiche

exakt berechenbar werden, läßt sich nur im Einzelfall feststellen. In Anbetracht der Tatsache, daß hier für die allgemeine Ableitung eine Richtgröße für die möglichen Abweichungen benötigt wird, sollte die Annahme einer im wesentlichen zufallsbestimmten Fehlerverteilung mit der erforderlichen Sicherheit zu den gesuchten Ausgangsgrößen führen.

Wir können demnach aus den Abweichungen der Einzeldaten abgelaufener Perioden auf die zu erwartenden Abweichungen schließen. Die Übertragung der Ergebnisse aus der Vergangenheit auf die Planperiode ist dann zulässig, wenn zwischen Erhebungs- und Anwendungszeitraum eine enge Beziehung besteht; der Ermittlungszeitraum für die Fehlerverteilung darf somit nicht zu groß gewählt werden und muß unmittelbar mit dem Planzeitraum in Verbindung stehen. Die Forderung, daß in die Berechnung der Fehlerverteilung eine möglichst große Zahl Einzelwerte eingeht, läßt sich mit der zuvor genannten Bedingung leicht in Einklang bringen, da wir auf die einzelnen Fertigungsakte abstellen.

Mittelwert und Streuung sind die Größen - gehen wir von der Normalverteilung aus - die hier als Richtwerte herangezogen werden können. Diese Werte müssen im Einzelfall dann noch an die Bedingungen bei den einzelnen Datengruppen angepaßt werden. Die Untersuchungen ergaben, daß die Streufelder häufig rechtsgeneigt sind¹ und daß sie flacher als die Kurve der Normalverteilung verlaufen. In der praktischen Verwendung sind also Abweichungen vom Mittelwert häufiger und die großen Abweichungen haben einen stärkeren Einfluß als bei normalverteilten Massen. Eine breit angelegte, intensive Spezialuntersuchung sollte unter Beiziehung möglichst umfangreichen Datenmaterials aus gut organisierten Unternehmungen zu diesem Punkt weitere Aufschlüsse geben und die bisher auf diesem Gebiet im Zusammenhang mit anderen Fragestellungen gewonnenen Erkenntnisse ergänzen.

1) Bei den Kostengrößen und bei den Angaben über die benötigten Kapazitäten.

Eine besondere Schwierigkeit bereitet bei der Vorherbestimmung der Fehlergrenzen die Gewohnheit, Sicherheitszuschläge in die Vorgabedaten einzubauen. Da die Vorgabedaten auch zur Leistungsbeurteilung der ausführenden Stellen herangezogen werden, diese Stellen aber bei der Festlegung der geplanten Werte mitwirken, so versucht man, sich Reserven zu schaffen. "... das Streben nach Sicherheit der Planerfüllung (kann) so dominant werden, daß es das Ziel der Wirtschaftlichkeitskontrolle und der Wirtschaftlichkeitssteigerung überdeckt und im Endergebnis die Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung herabsetzt. In den prognostizierenden Formen der Planungsrechnung kann diese Möglichkeit zu einer entscheidenden Gefahr werden und den ihnen gestellten Zweck geradezu hinfällig machen."¹

Gerade die versteckten Reserven sind das Problem, und man kann im Zweifel davon ausgehen, daß bei den verfügbaren Kapazitäten Abschläge, bei den benötigten Kapazitäten Zuschläge vorgenommen werden. Wir haben es hierbei mit einer einseitigen Verschiebung der Ausgangswerte in Richtung auf die Extremwerte zu tun. In diesen Fällen haben wir im wesentlichen gerichtete Abweichungen zu erwarten, und zwar sollte in erster Linie das Fertigungsvermögen zu niedrig angesetzt werden. Die Situation, die wir im ersten Kapitel dieses Untersuchungsteils als positive Datenvariation zwischen 1. und 2. Optimalprogramm bezeichnet haben, müßten unter diesen Bedingungen vorherrschen.

2.12 Kombinationsvorgang und Datenabweichung

Das Ergebnis der Fertigung wird durch die Kombination in der einzelnen Fertigungsstelle - Minimumfaktor - und durch die Kapazitätsverhältnisse zwischen den Fertigungsstellen - Engpaßbereich - bestimmt. Sind nun die bei der Programmberechnung zu verarbeitenden Daten nur innerhalb eines Streubereichs bestimmbar, dann verliert die Ausgangssituation ihre Eindeutigkeit, die sie bei Verwendung determinierter Daten besitzt. Minimumfaktoren

1) Stadler, M.: Gefahren falscher Anwendung der Planungsrechnung; in Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 1956, Heft 12.

und Engpaßbereiche werden zwischen den einzelnen Produktionsgängen¹ wechseln und nicht mehr in der gesamten Fertigungsperiode gleichbleiben. Die Instabilität des einzelnen Berechnungsmodells wird einerseits durch die Faktorenstruktur am einzelnen Fertigungsplatz und die Struktur der Fertigungsstellen zueinander und andererseits durch die Streuung der Daten gegeben.

Die durch diese Bedingungen geschaffene Situation ist am besten zu verstehen, wenn man sich das Modell für die gesamte Fertigungsperiode in Teilmodelle, die für den einzelnen Produktionsgang gültig sind, aufgeteilt denkt. In jedem Teilmodell läuft die Fertigung unter den durch die Fehlermarge bei den einzelnen Größen gegebenen Bedingungen ab. Durch die absolut niedrigsten Werte wird das Ergebnis bestimmt, dabei kann im Teilmodell theoretisch jede Größe zum niedrigsten Wert werden, je nachdem wie sich Richtung und Höhe der Abweichungen bei den einzelnen Faktoren zueinander verhalten.

Es ist nun offensichtlich, daß beispielsweise negative Abweichungen einer Größe vom in die Berechnung eingegebenen Mittelwert in einem Teilmodell nicht ohne weiteres durch gleich große positive Abweichungen in einem anderen Teilmodell kompensiert werden können. Nur dann ist ein Ausgleich in diesem Sinne möglich, wenn in allen Teilmodellen derselbe Engpaßbereich maßgebend ist. In diesem Fall werden die Schwankungen nur zu Stauungen und Lagerbildung im Engpaß führen.

Sobald aber der Engpaß wechselt oder sobald mehrere Engpaßbereiche existieren, ist der Fehlerausgleich nicht oder nur teilweise erreichbar. Abweichungen mit produktionsverringерndem Effekt werden sich bei allen Größen in jedem Fall unbegrenzt bis zum Produktionsstillstand auswirken können, dagegen sind Abweichungen mit produktionserhöhendem Effekt bei den Minimumfaktoren im Engpaßbereich nur bis zum nächsthöheren begrenzenden Faktor möglich.

1) Produktionsgang = zeitlich abgegrenzter Abschnitt der Fertigungsperiode, der je nach den speziellen Fertigungsbedingungen durch Arbeitsschichten bzw. Arbeitstage oder durch Fertigungslose bzw. Produktserien bestimmt wird.

Der Kombinationseffekt wird also sein, daß negative Abweichungen - produktionsverringern - vorherrschen werden. Diese Aussage gilt jedoch nicht uneingeschränkt, wenn Einzeldaten in die Berechnung eingehen, die mit Sicherheitszuschlägen versehen sind. Die bei diesen Daten überwiegenden positiven Abweichungen werden sich in der Kombination als positive Ergebnisbeeinflussung bemerkbar machen.

2.2 Fertigungsbedingungen und Ertragsveränderung

Die Größe der Abweichung B hängt von der Fertigungsfolge, der Ertrags- und Programmstruktur, der Engpaßsituation und den Losgrößenbedingungen ab. Zunächst wenden wir uns den Verhältnissen bei negativer Datenvariation zu, um im Anschluß daran die entsprechenden Fragen bei positiver Veränderung zu erörtern.

2.21 Fertigungsfolge als Bestimmungsfaktor

Bei negativen Abweichungen zwischen 1. Optimalprogramm und realisiertem Programm - Abweichung B = negativ - interessiert neben den verschiedenen Strukturkomponenten die Fertigungsfolge. Da über die Programmstruktur noch in anderem Zusammenhang gesprochen wird, beschränken wir uns hier auf die Fertigungsfolge.

Die Reihenfolge der Güter in der Herstellung bestimmt die Ertragseinbuße, da immer die Güter, die am Ende der Fertigungsperiode produziert werden, aufgrund der Informationsgegebenheiten im Unternehmen bei Verminderung der Kapazitäten ausscheiden müssen. Das Verhältnis zwischen durchschnittlichem Ertrag des Gesamtprogramms pro Zeiteinheit und dem Ertrag des ausscheidenden Gutes pro Zeiteinheit gibt dabei den Veränderungsgrad an.

Zielsetzung sollte es demnach sein, die Fertigungsfolge so anzuordnen, daß die ertragsärmsten Produkte, die noch im Programm enthalten sind, zuletzt gefertigt werden. Die Reihenfolge der anderen wäre entsprechend zu finden. Ertragsarm ist in diesem Zusammenhang jedoch keineswegs absolut zu verstehen; der Begriff hat nur Aussagekraft in bezug auf die Engpaßkapazität. Jedes

Produkt ist mit seinen Erträgen also auf die jeweils entscheidende Engpaßstelle zu beziehen und nach diesen Bedingungen einzuordnen.

Bei instabilen Fertigungsstrukturen ist die Reihenfolge demnach nicht definitiv festzulegen; sie läßt sich nur in einer gewissen Annäherung unter Annahmen über die wahrscheinlichsten Engpaßbildungen im Zuge der Datenvariation bestimmen. Besonders bei Programmen mit vielen Fertigungsstellen und zahlreichen Produkten ist die Veränderungsmöglichkeit sehr groß, so daß eine exakte Vorgabe der besten Reihenfolge schwierig werden kann.

Aus den in Anlage II aufgeführten einfachen Berechnungsfällen kann man bereits entnehmen, daß bei gleichen Fertigungsbedingungen ungleichmäßige Datenveränderungen zu verschiedenen optimalen Reihenfolgen in der Produktion führen. In den Beispielen sind vier Anpassungsmöglichkeiten gegeben, und zwar kann die durch veränderte Kapazitätsbedingungen erforderliche Programmverkürzung¹

im Fall a) bei Produkt 7

im Fall b) bei Produkt 2

im Fall c) bei Produkt 1 und 7

im Fall d) bei Produkt 1 und 2

vorgenommen werden. Im Berechnungsbeispiel (s. Anhang II) ergeben sich folgende Abstufungen²

Fall a) 1. 1. 1. 1. 2. 2. 3. 3.

Fall b) 2. 2. 3. 4. 1. 1. 1. 2.

Fall c) 3. 3. 2. 2. 1.) 4. 2. 1.

Fall d) 4. - 4. 3. 3. 3. 4. 4.

Häufigkeit: 6 1 2 3 1 2 1 1

Wir sehen allerdings schon bei dieser kleinen Auswahl, daß sich Schwerpunkte bilden wie hier der Fall a), der am häufigsten als

- 1) Die einzelnen Möglichkeiten drücken gleichzeitig die Fertigungsfolge aus, die Produkte, bei denen die Programmverkürzung vorgenommen wird, sollen jeweils die letzten in der Fertigung sein. Wenn Produkt 1 an letzter Stelle steht, fällt meist noch ein Teil eines anderen Produktes aus.
- 2) Die Zahlen geben, von 1-4 abnehmen, die Einteilung nach günstigster, zweitgünstigster etc. Fertigungsfolge an.

beste Fertigungsfolge auftritt; auf ihn entfällt allein zwölfmal der erste Rang bei siebzehn Entscheidungsfällen.

Neben den bisher erörterten Kriterien für die Ausrichtung der Fertigungsfolge dürfen aber die technischen Bedingungen der Produktion und die daraus abzuleitenden Determinanten für die Sortenfolge und die beste Ablaufgestaltung nicht vernachlässigt werden. Es ist nicht zu erwarten, daß die Produktionsabläufe auch nur annähernd übereinstimmen, wenn sie nach den beiden unterschiedlichen Zielsetzungen getrennt festgelegt werden. Es bleibt also nur die Möglichkeit, eine Abstimmung zwischen den beiden Bereichen anzustreben.

Uns interessieren dabei weniger die bestimmt nicht geringen Probleme, die bei der Realisierung des Gesamtoptimums in der Fertigungsfolge auftreten. Für uns ist allein wichtig, daß bei dem erforderlichen Kompromiß zwischen zwei Teillösungen in der Regel nicht die Fertigungsfolge mit der relativ niedrigsten Ertrags- einbuße gewählt werden kann.

Wir können demnach festhalten, daß die Schwierigkeiten bei instabiler Fertigungsstruktur und die Notwendigkeit zu Kompromißlösungen normalerweise zu Abweichungen führen, die größer als die Minimalabweichungen¹ sind.

2.22 Abweichung B bei positiver Datenvariation

Während die Abweichung B in jedem Fall negativ wird, wenn die Abweichung bei den dominierenden Kapazitätsgrößen ein negatives Vorzeichen hat, ist die Situation bei positiven Vorzeichen nicht eindeutig. Ist beispielsweise die tatsächlich verfügbare Kapazität größer als im 1. Optimalprogramm - positive Abweichung -, dann wird in der Beziehung zwischen 1. Optimalprogramm und realisiertem Programm ein kompensatorischer Prozeß ausgelöst.

Auf der einen Seite wird nämlich weiterhin das 1. Optimalprogramm verwirklicht, obgleich sich die Kapazitätsbedingungen verschoben haben; es wird damit Kapazität verschwendet. Hierdurch wird das

1) Abweichung bei der für die Ertragsverminderung günstigsten Fertigungsfolge.

Ertragsniveau des realisierten Programms gegenüber dem 1. Optimalprogramm gesenkt.

Auf der anderen Seite steht nach Beendigung der vorgesehenen Fertigungsarbeiten noch Kapazität zur Verfügung, die für ein Zusatzprogramm genutzt werden kann. Hierdurch ergeben sich zusätzliche Erträge, das Ertragsniveau wird gegenüber dem 1. Optimalprogramm angehoben.

Bezeichnen wir die Wirkungskomponenten mit B_1 und B_2 , dann ist $B = B_2 - B_1$, wobei zu berücksichtigen ist, daß B_2 von B_1 abhängt. Je größer B_1 wird, desto kleiner ist B_2 . Dies erklärt sich daraus, daß mit größer werdender Kapazitätsverschwendung (B_1) immer weniger Kapazität für das Zusatzprogramm (B_2) übrigbleibt. B_1 kann theoretisch alle Werte zwischen 0 und der insgesamt verfügbaren Kapazität annehmen, B_2 nur die Werte zwischen 0 und der durch die Datenveränderung zusätzlich verfügbaren Kapazität, soweit diese nicht bereits durch B_1 beansprucht ist.

Aus den Beziehungen zwischen B_1 und B_2 kann geschlossen werden, daß auch bei positiver Datenvariation in der überwiegenden Zahl der Fälle mit negativem B gerechnet werden muß. Nur dann, wenn B_1 weniger als die Hälfte der Zusatzkapazität verbraucht, ist die Abweichung B positiv.

Die Größe der Abweichung B_1 wird vornehmlich durch die Strukturverhältnisse des Programms determiniert¹, Abweichung B_2 wird bei gegebener Zusatzkapazität durch die Losgrößenbedingungen bestimmt. In der Praxis wird die noch verfügbare Produktionszeit meist für die Fertigung des oder der ertragreichsten Güter genutzt werden; die Erfassungsmethode wurde bereits in Punkt 1.13 dargestellt.

2.3 Typische Verhältnisse bei den Ertragsveränderungen

Gehen wir an dieser Stelle noch einmal auf die Kombinationsformen zwischen den Größen A und B zurück². Aus den jeweils möglichen

1) Vgl. hierzu Kapitel 3 in diesem Untersuchungsteil.

2) Seite 27.

Beziehungen charakterisieren nach den Feststellungen unter Punkt 2.1 und 2.2

(2) $-A; -B;$ gültig, wenn $A \leq B$

(3) $+A; -B;$ ohne Einschränkung gültig

die Bedingungen in den Unternehmen am besten.

Die Kombinationsform (3) ist vornehmlich dann zu erwarten, wenn Daten mit Sicherheitszuschlägen verwendet werden, da in diesen Fällen A meistens positiv wird.

Setzen wir die Größen in die Grundgleichung

$$C = B - A$$

ein, dann erhalten wir für (2)

$$C = -B + A$$

und für (3)

$$C = -B - A.$$

Die Gesamtabweichung wird im allgemeinen bei (2) kleiner als bei (3) sein.

Die Aussagen gelten natürlich nur unter den in dieser Untersuchung eingeführten Beschränkungen und Prämissen. Darüberhinaus müßte versucht werden, durch Erhebungen in der Praxis weitere Kenntnisse über die Kombinationsbedingungen in den Unternehmen zu bekommen.

3. Einfluß der Programmstruktur auf die Berechnungsergebnisse

Die Bedeutung der Programmstruktur für die Auswirkung der Datenveränderung wurde bereits mehrfach in der Untersuchung angedeutet, doch sind die Bestimmungsgründe und die Wirkungsmöglichkeiten bisher noch nicht näher geprüft worden. Es gilt nun festzustellen, wie die Systeme auf ungenaue Daten reagieren und unter welchen Bedingungen die Programmstruktur Ungenauigkeiten verstärkt oder abgeschwächt auf das Berechnungsergebnis weitergibt.

3.1 Zahl der Koeffizienten im Programm

3.1.1 Auswirkungen bei Abweichung A

Wir haben unter Punkt 2.12 festgestellt, daß ein Fehlerausgleich bei streuenden Eingabedaten innerhalb eines beliebig großen Zeit-

raumes (im hier interessierenden Fall ist es die Fertigungsperiode) nicht oder nur beschränkt erfolgen kann. Diese Erscheinung beruht im Prinzip darauf, daß sich die stärkste negative Abweichung immer voll bemerkbar machen kann, während die stärksten positiven Abweichungen durch das Auftreten neuer Engpässe nicht voll zur Auswirkung kommen.

Nun ist zu erwarten, daß mit Zunahme der Koeffizientenzahl, gehen wir im einfachsten Fall von Eingabedaten mit gleich großen Streubereichen aus, große negative Abweichungen häufiger auftreten. Tendenziell sollte sich deshalb mit der Koeffizientenzahl die Häufigkeit der negativen Abweichungen verändern. Diese Aussage bleibt prinzipiell auch bestehen, wenn die Eingabedaten unterschiedlich große Streubereiche haben; lediglich die Veränderungsrate wird dann beeinflußt.

3.12 Auswirkungen bei Abweichung B

Die Anpassungsmöglichkeit bei negativer bzw. positiver Abweichung wird hier durch die Beziehung "optimale Sortenfolge : Reihenfolge mit geringster Ertragseinbuße" bzw. "optimale Programmstruktur : optimale Losgrößenbedingung" ausgedrückt. Die beste Anpassung wird erreicht, wenn die Beziehungsgrößen gleich sind.

Die besten Voraussetzungen für eine Annäherung der Größe sind offensichtlich gegeben, wenn die Zahl der ins Optimalprogramm aufgenommenen Produkte klein ist. Die einander anzunähernden Größen werden nämlich von völlig unterschiedlichen Einflußgrößen bestimmt, deren Bedeutung mit der Produktzahl variiert. So wird beispielsweise die Summe der Sortenwechselkosten mit zunehmender Zahl unterschiedlicher Produktarten wachsen und das relative Gewicht dieser Kosten innerhalb der Gesamtkosten zunehmen. Bei einer Veränderung der optimalen Fertigungsfolge in Richtung auf die andere relevante Größe werden allein hierdurch stärkere Kostensteigerungen ausgelöst. Außerdem werden aber im Normalfall durch die erhöhte Produktzahl auch vermehrte Umstellungsmaß-

nahmen erforderlich, die gleichzeitig kostensteigernd wirken. Überproportionale Kostenerhöhungen sollten im Durchschnitt bei Vermehrung der ins Optimalprogramm eingehenden Produktarten zu erwarten sein.

Die Zahl der in die Berechnung eingehenden Fertigungsstellen spielt dann eine Rolle, wenn die Verringerung der Kapazität einer Stelle (Datenabweichung) in den nachfolgenden Fertigungsstufen kumulative oder kompensatorische Prozesse auslöst. Es waren keine Unterlagen zu bekommen, die ein Urteil darüber zulassen, wie weit bei den Fertigungsbedingungen der Industrie heute solche Wirkungen möglich und wahrscheinlich sind. Darum soll es hier bei diesem Hinweis bleiben, eine spezielle Untersuchung dieses Fragenkomplexes müßte nähere Aufschlüsse darüber bringen.

3.2 Beziehungen zwischen den Koeffizienten

Das optimale Programm wird bei determinierten Eingabedaten durch die Engpaßkapazitäten und die Ertragsstruktur der zur Auswahl stehenden Produkte bestimmt. Sobald man nicht mehr von determinierten Daten ausgehen kann, verliert das System seine eindeutige Bezugsbasis. An die Stelle der Engpässe tritt dann der Vektor aller verfügbaren Kapazitäten; bei schwankenden Eingabedaten werden alle Fertigungsstellen zu potentiellen Engpässen. Die Koeffizientenstruktur und ihre Beziehungen zum Kapazitätsvektor bestimmt die Stellung und Wirkung des Modells zwischen Eingabedaten und Ergebnissenauigkeit.

Wir wollen uns mit einigen Faktoren beschäftigen, die als Stabilisatoren der Struktur auftreten können. Die Veränderungen in der Ertragsstruktur brauchen dabei nicht besonders berücksichtigt zu werden, da sie als Veränderung der Kapazitätsansprüche bei den einzelnen Produkten interpretiert werden. Wir gehen also von den ertragsbezogenen Kapazitätsveränderungen aus, d.h. der Kapazitätsbedarf und die Veränderung des Kapazitätsbedarfs bei den Produkten werden auf die Erträge pro Produkte bezogen.

3.21 Abstimmungsgrad bei den Kapazitäten

Die Relation zwischen den verfügbaren und den benötigten Kapazitäten, der Vergleich zwischen den beiden Strukturen, drückt die Abstimmung der Produktionsverhältnisse an den Produktionsbedarf aus. Nun läßt sich feststellen, daß mit zunehmendem Abstimmungsgrad die Anfälligkeit des Modells gegenüber Daten-schwankungen zunimmt. Diese Überlegung beruht darauf, daß bei voller oder enger Deckung zwischen benötigter und vorhandener Kapazität im Ausgangsprogramm jede kleine Abweichung bei jedem Koeffizienten zu Ergebnisveränderungen führen muß. Bei gleicher Ungenauigkeit der Eingabedaten ist demnach bei zunehmendem Abstimmungsgrad damit zu rechnen, daß die Abweichungen im Ergebnis häufiger werden.

Die Auswirkungen werden sich in diesen Fällen unterscheiden, je nachdem, ob die Abstimmung bei homogener oder heterogener Beanspruchungsstruktur erfolgt. Als homogene Beanspruchungsstruktur wird der Fall bezeichnet, bei dem die einzelne Fertigungsstelle von allen Produkten im Fertigungsgang gleich stark belastet wird. Den Extremfall vollkommener Abstimmung bei homogener Beanspruchungsstruktur zeigt Tabelle A und die vollkommene Abstimmung bei heterogener Beanspruchungsstruktur, Tabelle B.

	Fertg.- Stelle	Produkt					Gesamt- Kapazität
		1	2	3	4	5	
Tabelle A:	A	2	2	2	2	2	10
	B	4	4	4	4	4	20
	C	2	2	2	2	2	10
	D	6	6	6	6	6	30
	E	1	1	1	1	1	5
Tabelle B:	A	2	1	3	3	1	10
	B	4	5	4	2	5	20
	C	2	2	1	1	4	10
	D	6	3	9	7	5	30
	E	1	-	1	1	2	5

Veränderungen der verfügbaren Kapazität führen bei homogener Beanspruchungsstruktur nur zu Niveauverschiebungen, nicht zu Strukturverschiebungen des Produktprogramms. Bei heterogener Beanspruchungsstruktur wird dagegen, wenn genügend große Datenungenauigkeiten auftreten, auch die Struktur verschoben.

Man kann daraus ableiten, daß bei heterogenen Strukturen tendenziell höhere Ergebnisveränderungen als bei homogenen zu erwarten sind, da hier mit dem Niveaueffekt auch Strukturveränderungen auftreten können.

3.22 Abstand zwischen den Produktionskoeffizienten

Treten neben Veränderungen im Kapazitätsvektor auch Schwankungen in der Koeffizientenmatrix auf, dann wird der Abstand zwischen den dominanten Koeffizienten¹ und den anderen Faktoren entscheidend. Je kleiner der Abstand ist, desto größer wird der Effekt vermehrter und desto kleiner der verringerter Kapazitätsansprüche durch Datenvariation.

Vermehrte Kapazitätsansprüche führen beim dominanten Koeffizienten voll zu Ergebnisverringerungen; bei den anderen Koeffizienten wirken sie sich dann aus, wenn sie größer als der Abstand zum dominanten Koeffizienten sind. Daraus ist unmittelbar die Beziehung zwischen Größe des Abstands und den Ergebniseinflüssen bei konstanter Datenungenauigkeit abzuleiten.

Verminderte Kapazitätsansprüche haben in erster Linie Bedeutung, wenn sie den dominanten Koeffizienten betreffen. Sie werden durch den Abstand zum nächstliegenden Koeffizienten begrenzt. Nur wenn gleichzeitig beim dominanten und den nächstliegenden Koeffizienten verminderte Kapazitätsansprüche zu verzeichnen sind, werden auch weitergehende Veränderungen ergebniswirksam.

3.23 Optimalprogramm und Konkurrenzprodukte

In der bisherigen Betrachtung wurde kein Unterschied zwischen Produkten im Optimalprogramm und nicht in die Fertigung aufge-

1) Faktor, der den Engpaßbereich im 1. Optimalprogramm am stärksten belastet.

nommenen Erzeugnissen (hier als Konkurrenzprodukte bezeichnet) gemacht. Für die Praxis erhält die Trennung aber besonderes Gewicht, sobald Anpassungen an Programmänderungen durchgeführt werden. Wenn sich nur die Anteile der im 1. Optimalprogramm enthaltenen Produkte verschieben - peripherer Austausch - werden im Normalfall die Ergebniseinbußen geringer sein, als wenn bisher nicht eingeplante Produkte neu hinzukommen - totaler Austausch. Denken wir hierbei nur an die Bereitstellung der erforderlichen Rohstoffe, Zulieferteile und halbfabrikate, an die Maschinenbelegungsplanung und die Ablaufplanung. Der totale Austausch erfordert im Zweifel eine vollständige Neuplanung, während man beim peripheren Austausch mit marginalen Änderungen auskommen kann.

Über die Stabilität des Optimalprogramms gibt demnach der Vergleich zwischen dem Optimalprogramm und den insgesamt möglichen Programmen Auskunft. Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit totalen Austausches sind die Beurteilungskriterien. Die Austauschmöglichkeiten ergeben sich aus der Zahl der für das Unternehmen relevanten Produkte, die nicht im Optimalprogramm erfaßt wurden. Die Bedeutung potentieller totaler Verschiebungen ist aus der Relation zwischen Konkurrenzprodukten und Produkten im Optimalprogramm abzulesen. Je größer die Zahl der erfaßten Erzeugnisse im Vergleich zu den ausgeschlossenen Gütern ist, desto geringer ist der mögliche Effekt zu veranschlagen.

Die Austauschwahrscheinlichkeit wird durch den Abstand zwischen dem Produkt mit dem ungünstigsten Koeffizientenvektor im Optimalprogramm und dem mit dem günstigsten Vektor außerhalb des Programms bestimmt. Je größer der Abstand desto unwahrscheinlicher wird bei gleicher Datenungenauigkeit der totale Austausch.

4. Einsatzbeschränkungen für die lineare Planungsrechnung

Die Tatsache, daß Datenungenauigkeiten und entsprechende Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis zu erwarten sind, läßt die Frage nach den Einsatzbeschränkungen der linearen Programmierung

auftauchen. Können diese Verfahren bei gegebenen Unsicherheiten im Informationssystem sinnvoll eingesetzt werden und unter welchen Bedingungen kann die lineare Programmierung in dieser Situation das Fertigungsergebnis verbessern?

Eine exakte quantitative Analyse dieser Zusammenhänge kann nur für den Spezialfall erfolgen; im Rahmen dieser Untersuchung können aber einige wichtige Punkte in allgemeiner Form berührt werden. Dabei gehen wir von der Voraussetzung aus, daß über den Einsatz der linearen Programmierung nach wirtschaftlichen Kriterien entschieden wird. Eine positive Einsatzentscheidung setzt demnach voraus, daß die Differenz zwischen den Ergebnissen vor und nach Anwendung der linearen Programmierung größer als die Kosten aus dem Einsatz dieser Instrumente wird. Die Einsatzbedingung lautet somit

$$E_2 - E_1 \geq K^1)$$

4.1 Informationsstand und Ergebnisverbesserung

Ausgangspunkt der Betrachtung ist die gesicherte Feststellung, daß die Ergebnisveränderung bei Anwendung irgendeines Operationsinstrumentes, ob konventionell oder modern, durch den Informationsstand und durch die Güte des Instrumentes bestimmt wird. Weiter kann als bewiesen unterstellt werden, daß mit abnehmender Informationsungenauigkeit und mit zunehmender Qualität des Verfahrens die Ergebnisveränderung größer wird.

Man kann nun die gesuchte Aussage als Ergebnisvergleich formulieren, bei dem die Verfahren nach dem Wirkungsgrad des Instrumentes (r) und der Datenungenauigkeit (s) eingestuft werden.

Das Ergebnis eines Verfahrens V_1 kann dann als

$$E_1 = r_1 - s_1$$

definiert werden, wenn man von einer additiven Verbindung

1) E_2 = Ertrag nach Einsatz der linearen Programmierung unter Berücksichtigung der abschätzbaren Ertragsminderungen ($B - A = C$), die im Vergleichsergebnis E_1 auch wirksam werden.

E_1 = Ertrag vor Einsatz der linearen Programmierung.

K = Kosten für den Einsatz der linearen Programmierung.

zwischen r und s ausgeht¹. Genauso lassen sich die Ergebnisse anderer Verfahren erfassen, wie beispielsweise

$$E_2 = r_2 - s_2$$

$$E_i = r_i - s_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$E_n = r_n - s_n.$$

Die Ergebnisveränderung zwischen zwei Verfahren V_2 und V_1 beträgt danach

$$E_2 - E_1 = r_2 - s_2 - r_1 + s_1$$

oder in allgemeiner Form ausgedrückt

$$(1) \quad E_j - E_i = r_j - s_j - r_i + s_i \quad \left(\begin{array}{l} j = 1, 2, \dots, m; \\ i = 1, 2, \dots, n; \quad j > i \end{array} \right)$$

Die Veränderungsraten zwischen $r_0, r_1, r_2, \dots, r_m$ bzw. zwischen $s_0, s_1, s_2, \dots, s_m$ bezeichnen wir mit q bzw. p . Dann wird

$$r_1 = r_0 q \quad \text{bzw.} \quad s_1 = s_0 p$$

$$r_2 = r_1 q = r_0 q^2 \quad \text{bzw.} \quad s_2 = s_1 p = s_0 p^2$$

$$r_i = r_0 q^i; \quad r_j = r_0 q^j; \quad r_n = r_0 q^n \quad \text{bzw.} \quad s_i = s_0 p^i; \quad s_j = s_0 p^j;$$

$$s_n = s_0 p^n.$$

Setzen wir diese Beziehungen in (1) ein, dann erhalten wir

$$E_j - E_i = r_0 q^j - s_0 p^j - r_0 q^i + s_0 p^i$$

$$E_j - E_i = r_0 (q^j - q^i) - s_0 (p^j - p^i).$$

Da $E_j - E_i \geq K$ sein soll, liegt die untere Grenze für den wirtschaftlichen Einsatz des Verfahrens V_j bei

$$r_0 (q^j - q^i) - s_0 (p^j - p^i) = K.$$

Gehen wir zunächst von $K = 0$ aus, dann

$$(2) \quad r_0 (q^j - q^i) - s_0 (p^j - p^i) = 0.$$

1) $E_1 = \frac{r_1}{s_1}$ lautet die Gleichung bei multiplikativer Verbindung; diese Form bleibt in der weiteren Untersuchung unberücksichtigt.

Da uns hauptsächlich interessiert, wie groß der Einfluß der Datenungenauigkeit maximal werden darf, ohne den Einsatz des neuen Verfahrens unwirtschaftlich werden zulassen, lösen wir die Gleichung nach p auf, da diese Größe die Wirkung der Datenungenauigkeit auf das eingesetzte Instrument ausdrückt.

Gleichzeitig ersetzen wir

$$q^j - q^i \text{ durch } q^n \text{ bzw. } p^j - p^i \text{ durch } p^n. \quad 1)$$

Aus Gleichung (2) wird dann

$$(3) \quad p = q^n \sqrt[n]{\frac{r_0}{s_0}} \quad \text{bzw.} \quad (4) \quad p \leq q^n \frac{r_0}{s_0}$$

Durch den Ausdruck (3) wird die Grenzlinie beschrieben, bis zu der die Datenungenauigkeit bei gegebenem Verfahren und Unternehmen noch einen Einsatz zuläßt; (4) gibt die Einsatzbedingungen an. Aus (3) und (4) lassen sich verschiedene Bedingungen für die Verwendung der linearen Programmierung ablesen, nämlich:

1. Zwischen p und q besteht eine lineare Beziehung, und die Steigung von p wird durch die Konstante $\sqrt[n]{\frac{r_0}{s_0}}$ gegeben. Da $n \geq 1$ sein muß²⁾, wird die Grenzlinie in jedem Fall unterschritten, wenn $q = 0$ ist, da nur dann $p = 0$, wenn vollkommene Information besteht.
2. Die Vielzahl der durch unterschiedliche $\frac{r_0}{s_0}$ 3) bestimmten Kurven lassen sich nach der Beziehung zur Grenzlinie einteilen in

	überschritten	Grenzlinie unterschritten	identisch
$\frac{r_0}{s_0} = 1$	$q > p$	$q < p$	$q = p$
$\frac{r_0}{s_0} > 1$	$q > p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{\frac{1}{n}}$	$q < p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{\frac{1}{n}}$	$q = p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{\frac{1}{n}}$
$0 < \frac{r_0}{s_0} < 1$	$q > p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{-\frac{1}{n}}$	$q < p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{-\frac{1}{n}}$	$q = p \left(\frac{r_0}{s_0}\right)^{-\frac{1}{n}}$

- 1) j bzw. i sind als Exponenten der Größen q und p notwendigerweise gleich groß, so daß in beiden Fällen diese Differenz $j - i = n$ gesetzt werden kann.
- 2) Folgt aus (1)
- 3) $\frac{r_0}{s_0}$ drückt die Reaktionsbeziehung zwischen den gegebenen Verbesserungsmöglichkeiten und den zu erwartenden Störeinflüssen aus den Informationsmängeln im Unternehmen bei Anwendung eines neuen Instrumentes aus.

Schauen wir uns die Situation in der Praxis an, dann kommt man zu dem Schluß, daß man normalerweise von den Bedingungen $\frac{r_0}{s_0} \geq 1$ und $q \leq p$ ausgehen kann. Mit anderen Worten, bei neuen Verfahren ist ein positiver Einsatzimpuls (≥ 1) zu erwarten, während die Veränderungsrate des Impulses zwischen Verfahren unterschiedlicher Güte maximal = 1 ($q = p$), im Normalfall aber ≤ 1 ($q \leq p$) bei den besseren Verfahren ist. Der aktuelle Grenzbereich wird demnach durch die Grenzlinien

$$q = p \left(\frac{r_0}{s_0} \right)^0 \quad \text{und} \quad q = p \left(\frac{r_0}{s_0} \right)^{-\frac{1}{n}}$$

3. Die Veränderung von $\frac{r_0}{s_0} = 1$ nach $\frac{r_0}{s_0} = \infty$ läßt unter den hier gegebenen Bedingungen $\frac{p}{q}$ größer werden, jedoch nimmt die Veränderungsrate ab. Sie nähert sich relativ schnell sehr kleinen Werten, erreicht aber Null (Parallele zur $\frac{r_0}{s_0}$ -Achse) erst bei $\frac{r_0}{s_0} = \infty$. Die für die Praxis noch relevanten Veränderungen liegen jedoch nur im ersten Kurvenbereich. Beispielsweise haben wir bei

n = 2					
$\frac{r_0}{s_0}$	1	4	9	16	25
$\frac{p}{q}$	1	2	3	4	5
n = 3					
$\frac{r_0}{s_0}$	1	4	9	16	25
$\frac{p}{q}$	1	1,587	2,08	2,52	2,924

Bei $n = 3$ benötigt man zum Ausgleich einer Änderung der Relation $\frac{p}{q}$ von 2,5 auf 2,9 bereits eine Erhöhung von $\frac{r_0}{s_0}$ um ca. 56%, nämlich von 16 auf 25.

4. n drückt den verfahrenstechnischen Gütegrad eines Instruments aus. Wichtig ist, daß die Wirkung von n nur im Zusammen-

menhang mit den anderen Größen gesehen werden kann; Instrumenten mit verbesserter Technik kann demnach nicht ohne weiteres ein wirtschaftlicher Vorteil vor anderen Verfahren zugemessen werden. Entscheidend dafür ist die Ausgangssituation im Unternehmen, und die Reaktionsempfindlichkeit des Instruments auf Datenungenauigkeiten. Man kann sich leicht Verfahren vorstellen, bei denen eine große Verfahrenstechnische Verbesserung nicht zu wirtschaftlichen Vorteilen führt, da die Empfindlichkeit des Instrumentes gegenüber Störwirkungen zu groß ist. Bei konstanten Beziehungen zwischen $\frac{r_o}{s_o}$ auf der einen Seite und $\frac{p}{q}$ auf der anderen Seite führt die Vergrößerung von n zu einer Abnahme des spezifischen Wirkungseffektes des eingesetzten Instrumentes, wie aus der Gleichung (4) zu erkennen ist

$$(4) \quad n = \frac{\log \frac{r_o}{s_o}}{\log \frac{p}{q}} \quad \left(\begin{array}{l} n \geq 1 \\ \frac{r_o}{s_o} \geq 1 \\ \frac{p}{q} \geq 1 \end{array} \right)$$

Es ist jedoch zu erwarten, daß die genannten Beziehungen bei Vergrößerung von n nicht konstant bleiben. Aber auch dann wird mit jeder Vergrößerung der Effektzuwachs geringer werden, da einmal die früher beschriebenen Beziehungen zwischen $\frac{r_o}{s_o}$ und $\frac{p}{q}$ sowie zwischen p und q dahin wirken und zum anderen eine Bremswirkung aus der in (4) gegebenen logarithmischen Beziehung abzuleiten ist.

Aus den Beziehungsgleichungen

$$n \log \frac{p}{q} = \log \frac{r_o}{s_o} \quad \text{bzw.} \quad \log \frac{p}{q} = \frac{1}{n} \log \frac{r_o}{s_o}$$

ist zu entnehmen, wie groß eine durch die Veränderung von n induzierte Veränderung von $\frac{p}{q}$ bzw. $\frac{r_o}{s_o}$ sein muß, damit die Grenzlinie (3) bei gegebenem Informationsstand nicht unterschritten wird.

5. Die Aussagen führen zu dem Schluß, daß die Ergebnisveränderung durch Einführung verbesserter Verfahren bei gegebenem Ungenauigkeitsgrad der betrieblichen Daten positiv ist, jedoch ständig

geringer wird. Die Veränderung im speziellen Fall wird durch die Relation zwischen dem Instrumenteneffekt des bisher eingesetzten und dem neu einzusetzenden Verfahren bestimmt.

Die Ergebnisveränderung kann durch Veränderung des Informationsstandes beeinflußt werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen. Die Beziehung zwischen Ergebnisveränderung und Kostenveränderung hilft die optimale Einsatzentscheidung zwischen verfügbaren Instrumenten finden.

4.2 Verfahrensauswahl unter Beachtung der Kosten-Informations-Beziehung

Wir können die Kosten, die beim Einsatz neuer Verfahren entstehen, einmal in Beziehung zu den verschiedenen Verfahren bei unverändertem Informationsstand, zum anderen in Beziehung zu den einzelnen Verfahren bei verändertem Informationsstand sehen. Im ersten Fall kann man die Kosten als eine Funktion des Gütegrades der eingesetzten Verfahren ansehen

$$K_1 = f(n).$$

Im zweiten Fall kann man die Kosten als Funktion des angestrebten Informationsstandes bzw. der noch als zulässig angesehenen Datenunge nauigkeit ausdrücken

$$K_2 = f\left(\frac{q}{p}\right) \quad 1).$$

In beiden Fällen kann zunächst als gesichert unterstellt werden, daß die Kosten mit zunehmendem n bzw. $\frac{q}{p}$ ansteigen. Bei K_1 kann als untere Grenze der Kostenveränderung beim Übergang zu besseren Verfahren ²⁾ eine lineare Beziehung des Typs

$$y_1 = ax_1 \quad 3)$$

angenommen werden. Es können in der Praxis wohl zum Teil auch progressive Kostenerhöhungen vorkommen, doch in dieser Untersuchung sollen lediglich in allgemeiner Form die unteren Kostenbegrenzungslinien aufgezeigt werden.

1) q als durch das Verfahren fest gegebene Größe.

2) Die Vorstellung einer Reihe, sich durch gleich große Verfahrensvorteile unterscheidende Instrumente soll hier beibehalten werden.

3) y_1 = Kostenveränderung; x_1 = Verfahrensverbesserung $\propto n$.

Bei K_2 muß davon ausgegangen werden, daß in den ersten Etappen der Informationsaufbereitung bei geringem Einsatz ein relativ großer Effekt erzielt werden kann. Je weiter die Informationsverbesserung fortschreitet, desto größer muß der Einsatz für jede weitere zusätzliche Einheit "Informationsverbesserung" werden. An einem bestimmten Punkt wird der Informationsstand praktisch nicht mehr zu verbessern sein, d.h. die Kostenveränderung wird hier pro Informations-einheit = ∞ ¹⁾. Wir drücken dementsprechend den Kostenverlauf von K_2 in einem Funktionstyp aus, bei dem sich die Kurve einem Grenzwert nähert und bei $x = \infty$ erreicht

$$y_2 = \frac{x_2^2}{b} \quad 2)$$

Wir erhalten unter Berücksichtigung der Ausführungen unter 4.1 nachstehende Bestimmungsgleichungen über die optimalen Veränderungsbedingungen:

Variationsform	Einsatzbedingung	Grenzpunkte d.Einsatzes
n	$r_0 q^n - s_0 p^n \geq a_n$	$r_0 q^n - s_0 p^n - a_n = 0$
$\frac{q}{p} \quad (q: \text{konst.})$	$r_0 q^n - s_0 p^n \geq \frac{q^2}{b p^2}$	$r_0 q^n - s_0 p^n - \frac{q^2}{b p^2} = 0$
$n + \frac{q}{p} \quad (q: \text{konst.})$	$r_0 q^n - s_0 p^n \geq a_n + \frac{q^2}{b p^2}$	$r_0 q^n - s_0 p^n - (a_n + \frac{q^2}{b p^2}) = 0$

Aus den Gleichungen ist zu erkennen, daß Grenzpunkte für den Einsatz mit positiver Ertragsverbesserung stets unter den auf Seite 45, Punkt 2, angeführten Bedingungen gegeben sind und daß die Distanz zwischen unterem und oberem Grenzpunkt im Einzelfall hauptsächlich durch die Beziehung $\frac{q}{p}$ und durch den konstanten Faktor b bestimmt wird.

4.3 Einfluß der Zeit bei der Verfahrensauswahl

Untersuchungen in Unternehmen zeigten, daß auch bei permanenter Verwendung gleichbleibender Planungsinstrumente Ergebnisverbesserungen allein als Folge eines Anpassungsvorganges im Zeitablauf erzielt

- 1) Dieser Punkt kann auch als Schnittpunkt mit einer Kapazitätsbegrenzungslinie interpretiert werden, doch gilt dies lediglich für eine kurzfristige Betrachtung, die hier keine Gültigkeit besitzt.
- 2) y_2 = Kostenveränderung; x_2 = Informationsverbesserung = $\frac{q}{p}$.

werden können, wenn die Aufgabenstellung des Unternehmens ständig oder für einen genügend langen Zeitraum beibehalten wird. Dieses Herantasten an den Bestzustand ist ein iterativer Prozeß, dessen Ablaufszeit durch die Güte des Verfahrens bestimmt wird. Diesen Prozeß kann man als eine Verbesserung der Beziehung $\frac{r_0}{s_0}$ interpretieren.

Im Vergleich zu dem Verfahren, bei dem die Anpassungsphase die Zeitspanne σ hat, lassen sich alle anderen Verfahren entsprechend dem Zeitbedarf zuordnen. Die erforderliche Zeitspanne wird dabei in Bezug auf das Verfahren $A(t_0)$ ¹⁾ durch folgende Größen bestimmt:

- a) Häufigkeit der Aufgabenänderung, Grad der Aufgabenänderung;
- b) Fertigungsverhältnisse (Kompliziertheit, Anpassungsmöglichkeit);
- c) Organisationsstand (Anpassungsfähigkeit, Anpassungsschnelligkeit).

Man kann den Anpassungsvorgang angenähert als einen Schwingungsverlauf um das Optimum ansehen, dem man sich mit der Zeit immer mehr nähert. Frequenz und Amplitude werden durch die unter b) und c) genannten Größen bestimmt. Die Größen unter a) geben die wichtigsten Störeinflüsse an.

Mathematisch kann der Vorgang durch die Funktion einer gedämpften Sinusschwingung dargestellt werden

$$y = \frac{\sin x}{a t}$$

In diesem Zusammenhang interessiert vornehmlich, wie stark der Ergebnisvorteil eines neuen Verfahrens durch die geschilderten Anpassungsvorgänge im Zeitpunkt des geplanten Einsatzes gegenüber dem alten Verfahren bereits abgebaut ist. Die Einschließenden der Sinuskurve geben für jeden Fall den Anpassungsverlauf wieder. Die Einschließende für

$$y = \frac{\sin x}{a t}$$

1) Verfahren $A(t_0)$ = Verfahren mit der Anpassungszeit σ .

ist $y = \pm a^{\frac{-x}{b}}$ bzw. $y = a^{\frac{-x}{b}}$ 1)

Ein Vergleich zwischen den betreffenden Funktionen der zur Auswahl stehenden Verfahren zeigt die Beziehung für jeden Wert t der Funktion an. Wenn der Schnittpunkt der zur Diskussion stehenden Kurven vor dem Entscheidungszeitpunkt liegt, dann genügt diese punktuelle Betrachtung zur Bestimmung des günstigsten Verfahrens. In diesem Fall bringt die der $A(t_0)$ -Verfahrens-Kurve am nächsten liegende Kurve immer den höchsten Verfahrensvorteil.

Sobald aber die Höhe des gesamten noch zu erwartenden Verfahrensvorteils eine Rolle spielt oder aber wenn die Betrachtung vor dem Kurvenschnittpunkt beginnt, dann muß die Differenz aus den durch die einzelnen Kurven mit der x -Achse ($= A(t_0)$ -Verfahrens-Kurve) gebildeten Flächen berechnet werden. Die Formel lautet²⁾

$$F = \int_{t_a}^{t_n} \frac{1}{a^{\frac{x}{b}}} dx - \int_{t_a}^{t_n} \frac{1}{a_1^{\frac{x}{b}}} dx$$

4.4 Optimaler Einsatz moderner Planungsinstrumente

Wir sahen, daß die technische Reife eines Planungsinstrumentes nur ein Moment unter anderen bei der Verfahrensauswahl darstellt, wobei die Einflußstärke der einzelnen Faktoren von der speziellen Betriebssituation bestimmt wird. Die Vielzahl der Einflußfaktoren, die Interdependenzen zwischen diesen Größen und die aus den vorstehenden Berechnungen abzuleitenden Veränderungsrelationen lassen erkennen, daß beim Einsatz moderner Verfahren nur in einem begrenzten Aktionsraum und unter bestimmten Voraussetzungen Ergebnisverbesserungen erzielbar sind.

-
- 1) Das Vorzeichen kann hier unberücksichtigt bleiben, da ein Über- oder Unterschreiten des Optimums die gleichen Auswirkungen auf die Ergebnisabweichung besitzt. a = Amplitude; x = Zeit in Planperioden; b = Frequenz.
 - 2) Es gilt die Annahme, daß die Kurven im angegebenen Intervall stetig verlaufen.

Die Entscheidung über den Einsatz eines bestimmten modernen Verfahrens, als Prototyp wurde in dieser Untersuchung die Lineare Programmierung gewählt, entspricht in allen Punkten einer normalen Investitionsentscheidung unter Beachtung der Wirtschaftlichkeitsbedingungen. Das heißt aber, die Wahl soll nicht auf das technisch beste Investitionsobjekt fallen, sondern die langfristig wirtschaftlichste Lösung soll gefunden und realisiert werden. Es ist nicht möglich, die Verfahrensvorteile als alleiniges Entscheidungskriterium heranzuziehen und damit die anderen Einflußgrößen, die zum Teil wesentlich größeres Gewicht haben, unberücksichtigt zu lassen. Es ist aber ebenso wenig zulässig, diese Größen durch eine "ceteris paribus Klausel" auszuschließen, da zwangsläufig korrespondierende bzw. gegenläufige Veränderungen mit der Variation der Verfahrensform auftreten.

5. Verbesserung der Einsatzbedingungen für mathematische Verfahren

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß durch den Einsatz der Linearen Programmierung in der heutigen Form wenig zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Unternehmen beigetragen werden kann. Die Relation zwischen Informationsstand und Informationsbedarf des Instruments wird im Normalfall zu ungünstigen Berechnungsergebnissen führen. Die verfügbaren Programmierungsverfahren werden erst dann in den Unternehmen verstärkt zu den Planungsarbeiten herangezogen werden können, wenn die in dieser Untersuchung aufgezeigten Mängel bei den Daten, bei den Methoden und in der Anwendungstechnik vermindert werden können. Voraussetzung wird weiterhin sein, daß das Denken und Handeln der Sachbearbeiter in den Unternehmen den neuen Begriffskategorien angepaßt ist, damit eine systementsprechende Verwendung der Verfahren sichergestellt wird.

Bei den gegebenen Bedingungen in den Unternehmungen, vor allem bei den Unsicherheiten im Datenmaterial, wird die entscheidende Bedeutung für die Verbesserung der Planungsarbeit von der Entwicklung operationeller Verfahren des stochastischen Programmierens ausgehen. Diese Programmierungsform entspricht den Anforderungen, die die Arbeit bei unvollkommener Information darstellt.

Weitere Impulse können von einer stärkeren Verbindung zwischen Datenanfall in den verschiedenen Bereichen der Unternehmung sowie der Datenverarbeitung und der Steuerung der Prozesse ausgehen.

Literaturverzeichnis

- Abromeit, G., Erzeugnisplanung und Produktionsprogramm, Wiesbaden 1955.
- Adam, A., Messen und Regeln in der Betriebswirtschaft. Einführung in die informationswissenschaftlichen Grundzüge der industriellen Unternehmensforschung, 1959.
- Adam, A., Fersch, F., Klamecker, A. u.a. Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, Würzburg 1959.
- Adam, A., Roppert, J., Betriebliche Leistungsverrechnungen, Würzburg 1962.
- Agthe, K., Zur stufenweisen Fixkostendeckung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1959.
- Albach, H., Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei unsicheren Erwartungen, Wiesbaden 1959.
- Albach, H., Krelle, W., Gelöste und ungelöste Probleme der Unternehmensforschung, Veröffentlichung der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 105 Köln.
- Allen, R.G.D., Mathematik für Volks- und Betriebswirte, Berlin 1956.
- Anderson, O., Über den Umgang mit systematischen statistischen Fehlern, Statistische Vierteljahresschrift, Wien 1954.
- Anderson, O., Probleme der statistischen Methodenlehre, Würzburg 1954.
- Angermann, A., Gleichgewichtskalkulation, Untersuchungen zur Maximalgewinnrechnung des Betriebes, Meisenheim 1952.
- Angermann, A., Entscheidungsmodelle, Frankfurt 1960.
- Antosiewicz, H.A. (ed), Proceedings of the Second Symposium in Linear Programming, 2. vol. National Bureau of Standards, Office of Publications, Washington 1955.
- Auffermann, J.D., Kostenauswertung, Stuttgart 1953.
- Balk-Jensen, Stellung und Entwicklung der Planungsrechnung als Instrument des Management, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1957.
- Beckmann, M.J., Lineare Planungsrechnung, Ludwigshafen 1959.
- Bierfelder, W., Wege und Irrwege mathematischen Denkens in Wirtschaftstheorie und Unternehmenspolitik, Nürnberg 1958.
- Blaschka, B., Betrachtungen zur industriellen Produktionsfunktion, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1957.
- Böhm, H.H., Zur Deckung und Aktivierung fixer Kosten im System der Grenz-Planungsrechnung, Zeitschrift f. Betriebswirtschaft 1955.
- Böhm, H.H., Nicht-Lineare Programmplanung, Wiesbaden 1959.
- Bowman, E.H., Fetter, R.B., Analysis of Industrial Operations, Homewood 1957.
- Bowman, E.H., Fetter, R.B., Analysis for Production Management, Homewood.

British Institute of Management, The Growth and Control of Indirect Costs, Occasional Papers No. 7 London 1960.

Buffa, E.S., Modern Production Management, New York 1961.

Cabell, R.W., Phillips, A., Problems in Basic Operations Research Methods for Management, New York 1961.

Charnes, A., Cooper, W.W., Mellon, B., A Model for Optimizing Production by Reference to Cost Surrogates, *Econometrica* 1955.

Charnes, A., Cooper, W.W., Non Linear Power of Adjacent Extreme Point Methods in Linear Programming, *Econometrica* 1957.

Charnes, A., Cooper, W.W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, *Management Science* 1957.

Chenery, H.B., Engineering Production Functions, *Quarterly Journal of Economics*, Cambridge/USA 1949.

Chorafas, D.N., Operations Research for Industrial Management, New York 1958.

Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L., Operations Research, München 1961.

Daeves, K., Methodik und Anwendung der Großzahl-Forschung, Industrielle Organisation 1951.

Daeves, K., Bechel, A., Großzahl-Methodik und Häufigkeitsanalyse, 1958

Dierckx, H., Metzold, F., Umstrittene Fragen der Plankostenrechnung, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1953.

Dörge, K., Wahrscheinlichkeitsrechnung für Nichtmathematiker, Berlin 1947.

Ellinger, Th., Ablaufplanung, Stuttgart 1959.

Euler, H., Die betriebswirtschaftlichen Grundlagen und Grundbegriffe des Arbeits- und Zeitstudiums, Darmstadt (ohne Jahresangabe).

Fettel, J., Der betriebliche Rationalisierungseffekt, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1959.

Fisher, R.A., Statistische Methoden für die Wissenschaft, London 1956.

Förstner, K., Über die Bestimmbarkeit wirtschaftlicher Kenngrößen, Meisenheim 1960.

Förstner, K., Henn, R., Die Anwendung ökonomischer Verfahren in der Unternehmensplanung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1956.

Förstner K., Henn, R., Dynamische Produktionstheorie und lineare Programmierung, Meisenheim 1957.

Frenckner, T.P., Bestimmung des Produktionsprogramms als Anwendungsbeispiel der Linear-Planung, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1958.

Freund, H.J., The Introduction of Risk into a Programming Model,
Econometrica 1956.

Gass, S.I., Linear Programming, Methods and Applications,
New York 1958.

Gater, H., Beispiele angewandter Plankostenrechnung in den Betrieben
der Serien- und Einzelfertigung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft
1950.

Gater, H., Hellmich, H., Die Verrechnung der Fertigungsgemeinkosten
mit Hilfe geplanter Maschinenzeitsätze, Zeitschrift für Betriebs-
wirtschaft 1952.

Gater, H., Behandlung von Preisschwankungen, Zeitschrift für Betriebs-
wirtschaft 1953.

Glaszinski, H., Die Ermittlung der Fixkostenstruktur eines Betriebes,
Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1955.

Graf, U., Henning, H.C., Statistische Methoden bei textilen Unter-
suchungen, Berlin 1955.

Graves, R.L., Wolfe, Ph., Recent Advances in Mathematical Programming,
New York 1963.

Gutenberg, E., Über den Verlauf der Kostenkurven und seine Begründung,
Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1953.

Gutenberg, E., Zum Methodenstreit, Zeitschrift für handelswissen-
schaftliche Forschung 1953.

Gutenberg E., Offene Fragen der Produktions- und Kostentheorie,
Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1956.

Gutenberg, E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre 1. Band
2. Auflage, Heidelberg 1955.

Haas, G., Kostenstufen und ihre Proportionalisierung, Betriebswirt-
schaftliche Forschung und Praxis 1951.

Haas, G., Ursachen, Möglichkeiten und Grenzen des linearen Kostenver-
laufes, Wirtschaftsprüfung 1952.

Hart, A.G., Anticipations, Uncertainty and Dynamic Planning,
Chicago 1940.

Hall, R., Das Rechnen mit Einflußgrößen im Stahlwerk. Diss.Köln 1955.

Henn, R., Aufgabenstellung der linearen Planungsrechnung, Zeitschrift
für die ges. Staatswissenschaften 1958.

Henn, R., Die Behandlung betrieblicher Störungen und Stauungen durch
Übergangswahrscheinlichkeiten, Schweizerische Zeitschrift für Volks-
wirtschaft und Statistik 1960.

Henzel, F., Die funktionale Betrachtungsweise im Rechnungswesen.
Der österreichische Betriebswirt 1956.

- Högger, D., Ermüdung und Leistungsabfall, Industrielle Organisation 1951.
- Hofer, N., Möglichkeiten und Grenzen der Plankostenrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1956.
- de Jong, J.R., Fertigkeit, Stückzahl und benötigte Zeit, Darmstadt 1960.
- Käfer, K., Standardkostenrechnung, Stuttgart 1955.
- Kalveram, K., Industrielles Rechnungswesen, Band 3, Kostenrechnung, Wiesbaden 1951.
- Kellerer, H., Theorie und Technik des Stichprobenverfahrens, 2. Aufl. 1953.
- Kern, W., Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung, Köln 1962.
- Kern, W., Gestaltungsmöglichkeit und Anwendungsbereich betriebswirtschaftlicher Planungsmodelle, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1962.
- Kilger, W., Flexible Plankostenrechnung, Köln 1961.
- Klein, H., Statistische Verfahren für die Fertigungsüberwachung, Fachzeitschrift Draht 1957.
- Koch, H., Zur Diskussion in der Ungewißeheitstheorie, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1960.
- Koopmans, T.C., Statistical Inference in Dynamic Economic Models, New York 1950.
- Kosiol, E., Technisch oder ökonomisch orientierte Plankostenrechnung, Zeitschrift für Organisation 1955.
- Kosiol, E., (Herausgeber) Plankostenrechnung als Instrument moderner Unternehmensführung, Berlin 1956.
- Krelle, W., Möglichkeiten und Grenzen der Ökonometrie, Zeitschrift für die gesamten Staatswissenschaften 1957.
- Krelle, W., Feste Endproduktproportionen und statistische Faktorsubstituierbarkeit bei Programmierungen, Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 1957.
- Krelle, W., Ganzzahlige Programmierungen, Unternehmensforschung 1959.
- Krelle, W., Künzi, H.P., Lineare Programmierung, Zürich 1958.
- Kromphardt, W., Henn, R., Förstner, K., Lineare Entscheidungsmodelle, Heidelberg 1962.
- Kühn, U., Ist die Theorie der fixen Kosten überholt? Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1955.
- Kulhavy, E., Operations Research, Wiesbaden 1963.
- Lassmann, G., Die Produktionsfunktion und ihre Bedeutung für die betriebswirtschaftliche Kostentheorie, Köln 1958.
- Linder, A., Fehlerrechnung bei kleinen Stichproben, Schweizerische Bauzeitung 1946.

- Linder, A., Planen und Auswerten von Versuchen, Basel 1953.
- Linder, A., Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure, Basel 1957.
- Ludwig, H., Die Größendegression der technischen Produktionsmittel, Köln 1962.
- Madansky, A., Methods of Solution of Linear Programs under Uncertainty, Operations Research 1962.
- Mathieu, J., Behnert, K., Jung, J.H., Mathematisch-organisatorische Studie zur Planung der Kapazität von Betriebsanlagen, Köln 1961.
- Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Arbeitszeit und Produktivität, Band 2, Berlin 1959.
- Medicke, W., Die Gemeinkosten in der Plankostenrechnung, Berlin 1956.
- Menges, G., Ökonometrische Diskussion eines Produktionsmodells, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1958.
- Messbauer, R., Die Plankosten in Theorie und Praxis der Betriebsplanung, Berlin 1957.
- Meyer, H., Zur Frage der Rechenhaftigkeit des subjektiven Wertes, Festschrift für A. Ammon, Bern 1953.
- Michel, E., Handbuch der Plankostenrechnung, Berlin 1937.
- Müller, A., Rechnung mit Grenzkosten als wirtschaftliche Gefahrenquelle? Frankfurt 1950.
- Müller-Merbach, H., Die Bestimmung optimaler Losgrößen bei losgrößenabhängigen Fertigungsstückkosten. Ablaufs- und Planungsforschung 1962.
- N.A.C.A. Direct Costing, N.A.C.A. Research Series Nr. 23 1953.
- Neumayer, W.W., Berücksichtigung des "Auftrags"- und "Verfahrens"-Wechsels in der Fertigung durch "doppelt-flexible" Plankostenrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1950.
- Neumayer, W.W., Platzkosten in der Plankostenrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1953.
- Newman, P., Some Calculations on Least-cost diet using the Simplex Method, Bull. Oxford University Inst. of Statistics 1955.
- Nowak, Pl, Kostenrechnungssysteme in der Industrie, Köln 1954.
- Oetting, G., Beitrag zur Klärung des betriebswirtschaftlichen Kapazitätsbegriffes und zu den Möglichkeiten der Kapazitätsmessung, Diss. Mannheim 1951.
- Patterson, F.K., Die Ermittlung der Planzahlen für die Plankostenrechnung, Wiesbaden 1961.
- Pichler, O., Die Anwendung der Matrizenrechnung auf betriebswirtschaftliche Aufgaben, Ing.Archiv 1953.
- Pichler, O., Kostenrechnung und Matrizenkalkül, Ablauf- und Planungsforschung 1961.

Plaut, H.G., Die Grenzplankostenrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1953.

Poller, H., Kostenrechnung bei konkurrierender Produktion, Diss. Freiburg 1957.

Rodenstock, Rolf, Die Genauigkeit der Kostenrechnung industrieller Betriebe, München 1950.

Rosander, A.C., The Use of Linear Programming to improve the Quality of Decisions, Ind.Qual.Control 1956.

Ruckstuhl, J.P. Untersuchung über Möglichkeiten einer verursachungsgerechten Zuordnung der im betrieblichen Fertigungsablauf entstehenden Kosten, insbesondere der Restgemeinkosten. Diss.Aachen 1961.

Rummel, K., Einheitliche Kostenrechnung auf der Grundlage einer vorausgesetzten Proportionalität der Kosten zu betrieblichen Größen, 3. Auflage, Düsseldorf 1949.

Rummel, K., Studien und Glossen zur Kostenrechnung, München 1953.

Sailer, K., Weiterentwicklung der Betriebsabrechnung mit Hilfe von Stichprobenverfahren, Stuttgart 1960.

Siegwart, H., Der Einfluß der fixen Kosten auf die Unternehmungs-politik, Diss. St. Gallen 1959.

Spiegel, M.R., Theory and Problems of Statistics, New York 1961.

Steffen, M., Steinecke, V., Kostenplanung eines Walzwerkes mittels Matrizen, Ablaufs- und Planungsforchung 1962.

Schneider, E., Grundsätzliches zur Planung und Standardkostenrechnung, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1940.

Schneider, E., Die Problematik der Lehre von den fixen Kosten, Weltwirtschaftliches Archiv 1944.

Schneider, E., Industrielles Rechnungswesen, Tübingen 1954,

Schnettler, A., Das Rechnungswesen industrieller Betriebe, Wolfenbüttel 1949.

Schriftenreihe der Agplan Band 2., Dynamische Betriebsplanung zur Anpassung an wirtschaftliche Wechsellagen, Wiesbaden 1959.

Schroeder, R., Mathematisch-statistische Grundlagen der Zeitstudie, Darmstadt (ohne Jahresangabe).

Tintner, G., Stochastic Linear Programming, Second Symposium on Linear Programming, Washington 1955.

Tintner, G., Handbuch der Ökonometrie, Heidelberg 1960.

Tintner, G., A Note on Stochastic Linear Programming, Econometrica 1960.

Vazsonyi, A., Scientific Programming in Business and Industry, New York 1958.

- Waffenschmidt, W.G., Die Gestaltung des Wirklichen in der Betriebswirtschaftslehre, Zeitschrift f. Betriebswirtschaft 1952.
- Waffenschmidt, W.G., Wirtschaftsmechanik, Stuttgart 1957.
- Wallis, W.A., Robert, H.V., Methoden der Statistik, Freiburg 1960.
- Wartmann, R., Kopineck, H.J., Hanisch, W., Funktionales Arbeiten in Kostenrechnung und Planung mit Hilfe von Matrizen, Archiv für das Eisenhüttenwesen 1960.
- Wetzel, W., Lineare Verteilungsmodelle in der Betriebswirtschaft, Unternehmensforschung 1956/57.
- Wilkinson, J.H., Better Management = Management + Industrial Engineering + Linear Programming, Journal of Industrial Engineering 1956.
- Winkel, H., Dynamische Planungsrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1959.
- Witthoff, J., Zur Kritik der Zuschlagskalkulation, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1950.
- Wittmann, W., Betriebswirtschaftslehre und Operations Research, Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 1958.
- Wittmann, W., Unternehmung und unvollkommene Information, Köln 1959.
- Wittmann, W., Lineare Programmierung und traditionelle Produktionstheorie, Zeitschrift f. Handelswissenschaftliche Forschung 1960.
- Wolff, W., Absatzerwartungen oder Normalkapazität als Grundlage der Plankostenrechnung? Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1953.
- Wolter, A.W., Das Rechnen mit fixen und proportionalen Kosten, Köln 1948.
- Woitschach, M., Wenzel, G., Lineare Planungsrechnung in der Praxis, Stuttgart 1959.
- Wuttke, K.W., Kosten - Einflußgrößenrechnung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft 1958.
- Zimmermann, W., Erstellung und Erprobung eines Produktionsmodells zur Programmplanung in Industriebetrieben, Diss. Aachen, 1961.
- Zimmermann, H.J., Mathematische Entscheidungsforschung und ihre Anwendung auf die Produktionspolitik, Berlin 1963.
- Zollikofer, O., Qualität und Kosten, Industrielle Organisation 1951.

ANHANG I: Aufgabenstellung

1.) Das Produktionsprogramm eines Unternehmens ist zu bestimmen.

Es sind folgende Angaben in die Berechnung einzuführen¹⁾:

a) Kapazitätsbedingungen

Prod. Fakt.	1	2	3	Produkte					verfügb. Kapaz.
				4	5	6	7	8	
I.	1,8	2,6	2,4	2,1	2,9	2,1	2,9	2,9	26,0
II.	36,0	28,8	28,8	28,8	31,2	36,0	21,6	36,0	242,0
III.	720,0	648,0	720,0	648,0	648,0	720,0	792,0	720,0	7200,0
IV.	30,6	30,6	32,6	30,6	26,5	30,6	22,4	32,8	250,0

b) Deckungsbeiträge

Produkte	1	2	3	4	5	6	7	8
Deckungsbeiträge	400	370	360	360	350	330	280	275

2.) Die aufgeführten Größen sind in der folgenden Form zu verändern:

A) Gleichmäßige Veränderungen bei

- I. der verfügbaren Kapazität: 1. +10%; 2. +5%; 3. -5%; 4. -10%;
 II. der benötigten Kapazität: 1. +10%; 2. -5%;
 III. den Deckungsbeiträgen: 1. +10%; 2. +5%; 3. -5%; 4. -10%.

B) Ungleichmäßige Veränderungen bei

I. der verfügbaren Kapazität

	Prod.-Faktor			
	I	II	III	IV
1.	+10%	-5%	+0	-10%
2.	-5%	+10%	-5%	+5%
3.	+5%	+0	-10%	+10%
4.	-10%	+5%	+10%	-5%

II. der benötigten Kapazität

alle Produkte bei

1.	+10%	-5%	-10%	+0
2.	+0	+5%	+10%	-10%

3. die Produkte 1 und 2 bei allen Prod.-Faktoren	+10%
" " 3 und 4	-10%
" " 5 und 6	-5%
" " 7 und 8	+5%

1) Entnommen aus Cabell, R.W., Phillips, A., Problems in Basic Operations Research for Management. New York 1961, Seite 19/20.

4. Produkte	Prod.-Faktoren			
	I	II	III	IV
1	+10%	-5%	+0	+0
2	-5%	+10%	+0	+10%
3	+0	+0	-5%	-5%
4	+10%	+0	-5%	+10%
5	-5%	+10%	+10%	+0
6	+0	+10%	+10%	-5%
7	+10%	-5%	+10%	+10%
8	-5%	+10%	+10%	+0

III. Deckungsbeiträgen	Bei den Produkten:							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	+10%	+5%	-5%	-10%	+0	-5%	-5%	-10%
2.	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%
3.	-10%	+10%	-10%	+10%	-10%	+10%	-10%	+10%
4.	-5%	-10%	+0	+5%	+5%	+5%	+10%	+0

C. Gleichzeitige Veränderung bei allen Komponenten

1. Kombination zwischen A I 4 und A II 1
2. " " A I 2 und A II 1
3. " " A I 4 und A III 4
4. " " A I 1 und A III 3
5. " " A I 4 und A II 1 und A III 3
6. " " B I 4 und B II 4 und B III 4
7. " " B I 3 und B II 3 und B III 3
8. " " B I 2 und B II 2 und B III 3

D. Die benötigte Kapazität ist stufenweise zu verändern, und zwar um:

+2%; +4%; +6%; +8%; +10%; +20%; +40%;
-2%; -4%; -6%; -8%; -10%; -20%; -40%.

ANHANG II: Ermittlung der Realisation

Zu A I 1

1. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 1 = +0,67
(0,67 à 400,-) Ergebnis: = +268,00
2. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 2 = +9,82
(0,82 à 370,-) Ergebnis: = +303,00
3. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 3 = +0,77
(0,77 à 360,-) Ergebnis: = +277,00
4. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 4 = +0,82
(0,82 à 360,-) Ergebnis: = +295,00
5. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 5 = +0,77
(0,77 à 350,-) Ergebnis: = +270,00
6. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 6 = +0,67
(0,67 à 330,-) Ergebnis: = +221,00
7. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 7 = +0,89
(0,89 à 280,-) Ergebnis: = +249,00
8. Möglichkeit: Zusatzfertigung Produkt 8 = +0,67
(0,67 à 275,-) Ergebnis: = +184,00

Zu A I 4

1. Möglichkeit: Produktfolge 1, 2, 7 bzw. 2, 1 7
Produktion = Produkt 1: 0,556
Produkt 2 : 3,7926
Produkt 7: 4,10
Ergebnis 2773,7
2. Möglichkeit: Produktfolge 1, 7, 2 bzw. 7, 1, 2
Produktion = Produkt 1: 0,556
Produkt 2: 2,951
Produkt 7: 5,22
Ergebnis 2775,9
3. Möglichkeit: Produktfolge 7,2,1
Produkt 2: 3,4526
Produkt 7: 5,22
Ergebnis 2739,1
4. Möglichkeit: Produktfolge 2,7,1
Produkt 2: 3,7926
Produkt 7: 4,91
Ergebnis 2778,1

Zu A II 1

1. Möglichkeit: Produktfolge 1, 2, 7 bzw. 2, 1, 7

Produktion = Produkt 1: 0,556
 Produkt 2: 3,7926
 Produkt 7: 4,187
 Ergebnis 2798,02

2. Möglichkeit: Produktfolge 1, 7, 2 bzw. 7, 1, 2

Produktion = Produkt 1: 0,556
 Produkt 2: 2,82
 Produkt 7: 5,22
 Ergebnis 2727,40

3. Möglichkeit: Produktfolge 7, 2 1

Produktion = Produkt 2: 3,21
 Produkt 7: 5,22
 Ergebnis 2649,30

4. Möglichkeit: Produktfolge 2, 7, 1

Produktion = Produkt 2: 3,7926
 Produkt 7: 4,688
 Ergebnis 2715,90

Zu A III

Die Kombinationen bleiben unverändert.

Das Ergebnis der Realisation entspricht dem
 Ergebnis des 2. Optimalprogramms.

Zu B I

	1.Mögl- lichk.	2.Mög- lichk.	3.Mög- lichk.	4.Mög- lichk.
1. Fall				
Produktion: Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	2,9726	3,5316	3,7926
Produkt 7	4,1	5,22	5,22	4,864
Ergebnis	2774,-	2784,-	2768,-	2784,-
2. Fall				
Produktion: Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	3,227	3,6066	3,7926
Produkt 7	4,699	5,22	5,22	5,05
Ergebnis	2941,-	2878,-	2796,-	2817,-

	<u>1.Mög- lichk.</u>	<u>2.Mög- lichk.</u>	<u>3.Mög- lichk.</u>	<u>4.Mög- lichk.</u>
3. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	0,3447	-
Produkt 2	3,7926	3,5576	3,7926	-
Produkt 7	5,028	5,22	5,22	-
Ergebnis	3034,-	3000,-	3003,-	-
4. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	3,0756	3,4560	3,7926
Produkt 7	4,5648	5,22	5,22	4,9124
Ergebnis	2904,-	2822,-	2740,-	2779,-

Zu B II

1. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	2,8221	3,2056	3,7926
Produkt 7	4,34	5,22	5,22	4,688
Ergebnis	2841,-	2728,-	2648,-	2716,-
2. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	3,1033	3,7210	3,7926
Produkt 7	4,6596	5,22	5,22	5,1614
Ergebnis	2930,-	2832,-	2838,-	2848,-
3. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	2,8221	3,2055	3,7926
Produkt 7	4,341	5,22	5,22	4,688
Ergebnis	2841,-	2728,-	2648,-	2716,-
4. Fall				
Produktion Produkt 1	0,556	0,556	-	-
Produkt 2	3,7926	3,1026	3,6080	3,7926
Produkt 7	4,2754	5,22	5,22	4,967
Ergebnis	2823,-	2832,-	2797,-	2794,-

Zu B III

	<u>1. Fall</u>	<u>2. Fall</u>	<u>3. Fall</u>	<u>4. Fall</u>
Ergebnis	3009,-	3099,-	3059,-	3082,-

Zu C¹⁾

1. Fall				
Produkt	7: 3,1747	2: 2,0932	1: - 2: 2,6193	1: - 7: 3,95
Ergebnis	2515,-	2458,-	2431,-	2509,-
2. Fall				
Produkt	7: 4,6999	2: 3,2704	1: - 2: 3,6445	1: - 7: 5,0858
Ergebnis	2942,-	2894,-	2810,-	2827,-
3. Fall				
Produkt	7: 4,0999	2: 2,9525	1: - 2: 3,3357	1: - 7: 4,5958
Ergebnis	2496,-	2499,-	2426,-	2421,-
4. Fall	(am Ende von Punkt C aufgeführt)			
5. Fall	(entspricht im Ergebnis Fall 1)			
6. Fall				
Produkt	7: 3,7673	2: 2,5936	1: - 2: 3,0384	1: - 7: 4,4589
Ergebnis	2635,-	2683,-	2620,-	2636,-
7. Fall				
Produkt	7: 4,0119	2: 2,3831	1: - 2: 3,0009	1: - 7: 4,5414
Ergebnis	2755,-	2486,-	2537,-	2688,-
8. Fall				
Produkt	7: 4,2427	2: 2,5982	1: - 2: 3,216	1: - 7: 47482
Ergebnis	2813,-	2573,-	2360,-	2740,-
9. Fall				
Produkt	7: 41041	2: 2,9758	1: - 2: 3,5318	1: - 7: 4,8637
Ergebnis	2778,-	2727,-	2753,-	2769,-

1) Unter C werden für die vier Variationsmöglichkeiten in den einzelnen Berechnungsfällen lediglich die erforderlichen Mengenveränderungen bei den entsprechenden Produkten (Angabe der Produktnummer) und die Produktionsergebnisse angeführt.

4. Fall

1.	Möglichkeit: Zusatzfertigung	Produkt 1	=	+256,-
2.	"	"	2	= +287,-
3.	"	"	3	= +262,-
4.	"	"	4	= +279,-
5.	"	"	5	= +258,-
6.	"	"	6	= +211,-
7.	"	"	7	= +220,-
8.	"	"	8	= +175,-

Lebenslauf

=====

Gerd Bernsau, deutscher Staatsbürger, geboren am 4. Februar 1930 als Sohn des Bankdirektors Dr. Erich Bernsau und seiner Frau Margarete geb. Kewer in Wuppertal.

Von 1936 - 1940 Volksschule in Wuppertal, von 1940 - 1951 Neusprachliches Gymnasium Wuppertal (durch Kriegsereignisse bedingt 1944 - 1945 kein Schulunterricht). 1951 Reifeprüfung.

Berufsausbildung: 1951 - 1953 Banklehre im Bankhaus von der Heydt-Kersten & Söhne in Wuppertal. 1953 Kaufmannsgehilfenprüfung. Darauf Angestelltenzeit in diesem Bankhaus in der Effekten- und Auslandsabteilung.

Wintersemester 1953/54 bis Sommersemester 1956 Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität zu Köln in den Gebieten: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Volkswirtschaftslehre, Bankbetriebslehre, betriebliche Steuerlehre, Rechtswissenschaft und Finanzwissenschaft.

An der Universität zu Köln Besuch der Vorlesungen und Übungen in:

1. Volkswirtschaftslehre bei den Professoren Th. Wessels, G. Schmölders, H. Rittershausen, E. Besters, A. Müller-Armack, C.A. Andreae, P. Bente und L. Berkenkopf.
2. Statistik bei den Professoren K. Breuer und L. Ricken.
3. Betriebswirtschaftslehre bei den Professoren E. Gutenberg, H. Rittershausen, Th. Beste, R. Seyffert, P. Knorr, W. Aprath, H. Schlüter und P. Rogowsky.
4. Rechtswissenschaft bei den Professoren H.C. Nipperdey, F. Böhne, T. Süss, K. Schneidewin, A. Spitaler, K. Jahrreiss, W. Aprath.

1956 Diplom-Examen an der Universität zu Köln mit Gesamtnote "Gut" (Diplom-Kaufmann).

Anfang 1957 Anstellung im Verlag W. Girardet in Wuppertal. September 1958 Anstellung bei einem Wirtschaftsprüfer und Steuerberater in Frankfurt/M. Seit August 1961 Anstellung bei der Prognos AG. in Basel. Vom Sommersemester 1962 bis Wintersemester 1964/65 Studium an der Universität Basel in den Fächern: Volkswirtschaftslehre, Statistik und Rechtswissenschaft.

An der Universität zu Basel Besuch der Vorlesungen und Übungen in:

1. Volkswirtschaftslehre bei den Professoren G. Bombach und E. Salin.
2. Statistik bei den Professoren G. Bombach und H. Guth.
3. Rechtswissenschaft bei den Professoren M. Imboden und K. Spiro.

Abschluß des Studiums an der Universität Basel mit dem Doktorexamen im Jahre 1965. Mündliche Prüfung am 6. Juli 1965. Die Dissertation ist auf Anregung von Herrn Professor Dr. G. Bombach entstanden.

BAMBERGER FOTODRUCK - RUDOLF RODENBUSCH
8600 BAMBERG • Markusplatz 22 • Tel.: 09 51/6 2794